Abbé Henri SIMARD
Professeur à l'Université Laval

PROPOS SCIENTIFIQUES



QUÉBEC
Imp. L'Action Sociale Ltée
1920

à 5.–

L'Honorable

Sir Lomer Gouin

Premier Ministre de la

Province de Québec

Hommage respectueux

de l'auteur

Henri Simard Ptre

PROPOS SCIENTIFIQUES

Permis d'imprimer :

François Pelletier, ptre. P. A.

Supérieur du Séminaire de Québec.

Abbé Henri SIMARD
Professeur à l'Université Laval

PROPOS SCIENTIFIQUES



QUÉBEC
IMP. L'ACTION SOCIALE LTÉE
1920

DU MÊME AUTEUR

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE, 3e édition, 1916.

COURS ÉLÉMENTAIRE DE COSMOGRAPHIE, 2e édition, 1916.

MANUEL DES SCIENCES USUELLES (en collaboration avec M. le chanoine V.-A. Huard), 5e édition, 1920.

———

AVANT-PROPOS

*Depuis plusieurs années, nous avons traité, dans des conférences à l'*Université Laval, *à l'*Institut canadien *et ailleurs, un certain nombre de questions scientifiques, et nous avons publié dans diverses revues, telles que le* Parler français, *la* Nouvelle-France *et le* Canada français, *plusieurs causeries ou chroniques, choisies, autant que possible, parmi les sujets d'actualité les plus propres à instruire et à intéresser le public, réalisant en quelque sorte ce que le regretté Mgr Laflamme appelait l'*extension de l'enseignement universitaire.

Les connaissances scientifiques contenues dans ces travaux, bien que fort modestes, peuvent peut-être encore, nous en avons du moins l'illusion, avoir quelque utilité pour une certaine classe d'amateurs avides des choses de la science, mais elles sont maintenant dispersées ici et là dans plusieurs périodiques que bien peu de personnes possèdent au complet et peuvent consulter facilement.

A la suggestion de plusieurs de nos amis, nous avons réuni dans un même volume quelques-unes de nos conférences et la plupart de nos chroniques scientifiques, en les disposant suivant l'ordre logique ordinairement suivi dans les ouvrages de physique et d'astronomie.

C'est ce volume, sous le titre de Propos scientifiques, *que nous présentons aujourd'hui au public québecquois.*

Nous n'avons fait aucun changement aux causeries qui en constituent la matière et nous avons voulu leur conserver le caractère vulgarisateur et élémentaire que nous leur avions donné lors de leur publication ; c'est par là, croyons-nous, qu'elles seront de quelque profit pour la majorité des lecteurs, et ce sera leur seul mérite.

Nous n'avons pas cru nécessaire d'indiquer presqu'à chaque page nos sources d'informations. Qu'il nous suffise de dire que nous avons puisé de nombreux renseignements scientifiques et surtout historiques dans les ouvrages suivants : A. Berget, Physique du globe et Météorologie ; *A. Berget,* Ballons, Dirigeables et Aéroplanes ; Annuaires du Bureau des Longitudes *pour* 1909, 1912 *et*

1914 ; *A. Angot*, Traité élémentaire de Météorolo ; *Petit & Leudet*, Les Allemands et la Scien ; *Jules Gay*, Lectures scientifiques ; *J.-H. Fabre*, Les Inventeurs et leurs Inventions, etc.

Nous espérons que ces humbles pages, tout en procurant à bon nombre de lecteurs la satisfaction d'une légitime curiosité, contribueront pour une certaine part à répandre de plus en plus le goût des sciences physiques et astronomiques.

H. S.

PROPOS SCIENTIFIQUES

LE PONT DE QUÉBEC[1]

Les journées des 17, 18, 19 et 20 septembre 1917 resteront mémorables dans les annales de la bonne ville de Québec. Après de longues années d'efforts et d'espoirs, elle a vu se réaliser le projet gigantesque de relier par un pont métallique les rives escarpées du Saint-Laurent, et son triomphe, aux applaudissements du pays tout entier, la console des nombreuses déceptions dont le sort l'a trop souvent affligée plus qu'à son tour.

Pendant ces quatre jours désormais historiques, les péripéties de la guerre, les craintes inspirées par la loi de conscription, furent rejetées au second plan ; tout l'intérêt était concentré sur un point unique, mais d'importance capitale, la pose de la travée centrale, le parachèvement du pont de Québec.

[1] *La Nouvelle-France*, novembre 1917 et janvier 1918.

C'est que le public québecquois s'était rendu compte qu'il allait être témoin d'un événement scientifique extraordinaire, qu'il allait assister, angoissé mais confiant, à une tentative hasardeuse sur laquelle étaient fixés les yeux des savants du monde entier et qui serait de nature à consacrer pour toujours la réputation des ingénieurs qui l'auraient exécutée.

Il s'agissait de transporter, sur des pontons traînés par des remorqueurs, à plusieurs milles de distance, en tenant compte des conditions si aléatoires du vent, du courant et de la hauteur de la marée, l'immense travée métallique de 640 pieds de longueur, et, ensuite, une fois assujettie à quatre lames d'acier, de la hisser à 150 pieds de hauteur pour l'accrocher enfin aux bras des *cantilevers* déjà construits, réalisant ainsi l'arche de la plus grande portée entre piliers qui soit au monde !

Aussi l'affluence des visiteurs et des curieux fut considérable. De tous les points du pays et des États-Unis, une foule compacte, bravant l'heure matinale et les difficultés de transports, se pressait sur les grèves de St-Romuald, de Sillery et de Sainte-Foy, pendant que de nombreux

bateaux, bondés de voyageurs, s'approchaient aussi près du pont que le permettait la consigne. Pendant les quatre jours qu'ont duré les travaux jusqu'au triomphe final, la foule ne cessa de circuler, témoignant par là de l'intérêt immense qu'elle attachait au succès de l'entreprise. Des familles entières, abandonnant leurs foyers à la garde des dieux lares, s'étaient installées, bien munies de comestibles, sur le rivage du fleuve et se promettaient bien, cette fois-ci, de ne pas *manquer le coup*...

On n'avait pas oublié, en effet, la catastrophe de l'année précédente, et bien qu'on fût plein de confiance dans la capacité des ingénieurs, on ne pouvait dissimuler un sentiment d'angoisse qui étreignait vaguement tous les cœurs ; et si la majorité des gens s'étaient transportés là pour voir monter la travée, il y en avait aussi plusieurs qui étaient venus pour... la voir tomber ! Ce sentiment curieux de la foule se traduit par cette réflexion d'une brave mère de famille, un peu lasse peut-être de la lenteur des opérations :

" Allons-nous-en ! Vous voyez bien qu'elle ne tombera pas !"

En effet, elle n'est pas tombée, et, jeudi le 20 septembre, à 4 heures de l'après-midi, les vibrations stridentes des sifflets et des sirènes de tous les navires du port annonçaient l'heureuse issue des travaux ! La travée centrale était en place, le pont de Québec était un fait accompli. *Deo gratias !*

A l'occasion de ce grand événement d'actualité, nous ne pouvons nous dispenser de donner aux lecteurs de la *Nouvelle-France* quelques détails sur la construction et le parachèvement du pont de Québec. Laissant aux financiers le côté économique et aux ingénieurs les considérations techniques inaccessibles au plus grand nombre, nous resterons dans le domaine plus humble du physicien amateur, et nous nous efforcerons, de la manière la plus simple possible, de mettre en lumière les nombreux principes de mécanique et de physique que l'on a appliqués dans cette colossale construction.

*
* *

On a choisi pour le pont de Québec le système *cantilever*, le seul peut-être possible, à raison de

la largeur du fleuve et de la profondeur de l'eau. Ce système, en effet, permet des portées plus grandes entre piliers que les ponts ordinaires à treillis métalliques, et offre plus de garanties de solidité pour les poids lourds que les ponts suspendus sur câbles.

Qu'est-ce donc que ce système, et quelles en sont les caractéristiques essentielles ?

Imaginons deux piliers en maçonnerie installés sur le fond du fleuve et aussi rapprochés l'un de l'autre que le permet la profondeur croissante de l'eau. Sur chacun de ces piliers on dispose une immense structure métallique formée de poutres d'acier entre-croisées et se comportant comme un tout rigide indéformable. Cette structure se compose de deux quadrilatères parallèles à diamètres inégaux, réunis par des poutres transversales et dont la distance est égale à la largeur du pont. Les deux petits diamètres de ces quadrilatères constituent les poteaux qui s'appuient sur les piliers, et le plancher qui unit les deux plus grands sera le tablier du pont.

Si l'on suppose alors une construction de ce genre sur chacun des piliers, on réalise quatre bras

métalliques, dont deux s'avancent vers le centre de la rivière, mais sans se rejoindre, et dont les deux autres se dirigent vers le rivage.

Si les deux bras de ces structures étaient de même longueur et de poids égaux, elles se tiendraient d'elles-mêmes en équilibre sur les piliers. Mais il n'en est pas ainsi : les bras des cantilevers qui se dirigent vers le milieu de la rivière sont plus longs et plus lourds que ceux qui vont vers les rivages. Comme les deux premiers seront unis par une travée centrale et que celle-ci, outre son propre poids, devra supporter la charge de tout ce qui passera sur le pont, il en résulte un surcroît de poids qui tend à faire basculer les cantilevers vers le fleuve. C'est pour lutter contre cette surcharge que l'on fixe les deux autres bras à des piliers d'ancrage installés sur le rivage ; le mouvement de bascule ne peut se produire que si ces piliers d'ancrage sont arrachés de leur fondation. On peut donc dire que toute la solidité du pont dépend de ces piliers, de leurs masses, de leurs poids et de la manière dont ils sont fixés aux bras de la structure métallique ; ils jouent, en quelque sorte, le rôle des

poids qu'il faut placer dans l'un des plateaux d'une balance pour équilibrer une charge placée dans l'autre plateau.

D'après ce que nous venons d'expliquer, et qu'il est difficile de rendre clair en l'absence de toute vignette ou de tout schéma, un pont cantilever n'est rien autre chose qu'un système à bascule compensé par un ancrage sur chacune des rives du fleuve. Relions maintenant les piliers d'ancrage aux sommets des falaises par des passerelles métalliques, et le pont est complété.

Ceux qui ont vu le pont de Québec, — et qui ne l'a pas vu !— peuvent se rendre compte maintenant qu'il répond bien à la courte et incomplète description que nous venons de donner du système cantilever, et cette description fera mieux comprendre les quelques détails que nous allons donner sur ses principales dimensions.

Le pont cantilever proprement dit s'étend d'un pilier d'ancrage à l'autre ; cette longueur comprend les deux structures métalliques s'appuyant sur les piliers principaux et la travée centrale qui les joint. Chaque structure se compose de deux bras, celui qui se dirige vers le centre du

fleuve et qu'on appelle le bras cantilever, et celui qui s'avance vers le rivage, appelé le bras d'ancrage. Chaque bras cantilever mesure 580 pieds de longueur et chaque bras d'ancrage 515 pieds ; la longueur de la travée centrale est de 640 pieds, ce qui fait une longueur de 2830 pieds pour l'ensemble du pont cantilever proprement dit. Ajoutons à cela deux passerelles d'approche aux deux rives nord et sud, la première longue de 270 et la deuxième de 140 pieds, et l'on aura, pour l'ensemble du pont, une longueur totale de 3,240 pieds, avec une largeur de 88 pieds à l'intérieur de la structure, et de 100 pieds à l'extérieur.

La longueur la plus importante à signaler est celle qui sépare les deux piliers principaux ; c'est l'arche métallique de la plus longue portée qui soit au monde : elle mesure 1,800 pieds de longueur et dépasse de 90 pieds chacune des arches du fameux cantilever de la Forth, en Écosse ; c'est cette hardiesse architecturale qui est la note caractéristique du pont de Québec, et qui en fait une des merveilles du monde.

Le tablier du pont, au niveau des rails, s'élève à une hauteur de 163 pieds au-dessus du niveau

de la marée haute ; la hauteur des poteaux principaux, au-dessus du sommet des piliers, est de 320 pieds, et de 370 pieds au-dessus du niveau extrême de la marée basse.

Les piliers principaux et les deux piliers d'ancrage constituent des masses de maçonnerie de dimensions colossales. On assure qu'ils contiennent 106,000 verges cubes de béton et plus de pierres qu'il y en a dans les fondations de toutes les maisons de Québec. Le pilier principal nord mesure 180 pieds de long, 60 pieds de large et 106 pieds de haut ; les dimensions de celui du sud sont 180 pieds de long, 55 pieds de large et 126 pieds de haut. La plus grande partie de ces piliers s'enfonce sous terre, puisqu'ils ne s'élèvent que de 47 pieds au-dessus du niveau de la marée basse.

Enfin, le pilier d'ancrage sud mesure 128 pieds de long, 28 pieds de large et 125 pieds de haut au-dessus du niveau du sol ; celui du nord a pour dimensions 128 pieds de long, 29 pieds de large et 138 pieds de haut.

Quant aux poids des différentes parties de la structure métallique, citons les principaux : chaque poteau principal pèse 5,560 tonnes ; ce poids,

ajouté à celui du bras d'ancrage, s'élève à 17,000 tonnes, et celui du bras cantilever est de 13,000 tonnes. L'on voit que les bras cantilevers sont de 65 pieds plus longs et pèsent près de 2,000 tonnes de plus que les bras d'ancrage. Le poids de la travée centrale est de 5,600 tonnes et le poids total de toute la structure métallique atteint le chiffre énorme de 66,000 tonnes.

La longueur de la travée centrale surpasse de 80 pieds deux fois la longueur de l'Université Laval, et le pont dans son entier vaut environ 11 fois et demie la longueur de cette même bâtisse. Le sommet de la croix qui surmonte le clocher central de l'Université est à 210 pieds au-dessus du niveau du sol ; cette hauteur ne dépasse que de 47 pieds celle du tablier du pont au-dessus du niveau du fleuve. La hauteur des poteaux principaux des cantilevers au-dessus des piliers est de 110 pieds plus considérable que celle de la même croix de l'Université, et cette dernière est de 160 pieds moins élevée que le sommet de ces mêmes poteaux au-dessus de l'extrême niveau de la marée basse du fleuve.

Suivant un autre mode de comparaison avec des longueurs familières à plusieurs de nos lecteurs, on trouve que la travée centrale, placée sur l'Esplanade de Québec, occuperait toute la distance qui sépare la rue Saint-Louis de la rue Sainte-Anne ; la longueur totale du pont, de rive à rive, couvrirait l'espace qu'il y a entre le Château Frontenac et la partie la plus éloignée du manège militaire, et la longueur de l'arche métallique qui unit les deux piliers principaux serait représentée par la distance qu'il y a, sur la Grande-Allée, entre les bâtisses du Parlement et l'église des Sœurs Franciscaines.

*
* *

Nous ne pouvons entrer dans le détail des calculs nombreux et difficiles que la construction du pont de Québec a sans doute exigés ; il nous suffira de quelques considérations pour en faire valoir l'importance et la complexité.

En premier lieu, l'on pourrait peut-être croire que la solidité de la structure métallique dépend de la quantité de fer employé, en un mot, que tout se borne à ne pas ménager les matériaux ; à ce

point de vue, l'on aurait le maximum de sécurité et de force en construisant une structure massive, un véritable tunnel d'acier.

Ce serait là une grave erreur. En effet, la force de résistance d'un mécanisme, d'une construction quelconque, n'est pas proportionnelle à l'augmentation de ses dimensions ; car il faut tenir compte du poids de cette construction, lequel croît comme le cube des dimensions, tandis que la force n'augmente que comme le carré. Il en résulte que cette force diminue très vite à mesure que le poids augmente, et que l'on ne peut pas juger de la force d'une machine par celle de son modèle. Un pont métallique massif, long comme celui de Québec, ne pourrait certainement pas se soutenir lui-même et s'écroulerait sous son propre poids.

C'est pour cette même raison que les gros animaux, toutes proportions gardées, sont beaucoup moins forts que les plus petits. Un oiseau-mouche est incomparablement plus fort qu'un aigle, et cette vérité est encore plus manifeste pour les insectes. Une fourmi peut transporter des objets beaucoup plus lourds et beaucoup plus gros qu'elle,

elle peut grimper verticalement, en soulevant son poids, avec une grande aisance et une grande rapidité, ce qui serait impossible pour un gros animal. Comparons, par exemple, une puce avec un éléphant : outre que la puce peut exécuter des bonds gigantesques par rapport à sa grosseur, sa force prodigieuse lui permet de traîner 1,200 fois son poids ; un éléphant pourrait-il traîner 1,200 éléphants ?...

Si nous appliquons ces principes à la construction des ponts, l'on voit qu'il faut chercher à obtenir la plus grande force de résistance avec le maximum de légèreté. C'est pour cela que la structure métallique se compose d'un treillis de poutres entre-croisées, présentant de nombreux vides et, par suite, relativement très léger.

Il en est de même de la forme à donner aux poutres elles-mêmes ; cette forme se déduit du principe suivant, énoncé par Galilée : une barre creuse résiste mieux à la rupture par flexion qu'une barre massive de même substance, *sous même quantité de matière.* Supposons, en effet, une barre horizontale fixée par l'une de ses extrémités ; si l'on applique, à l'autre extrémité, une force

qui tend à produire une certaine flexion, il est facile de se rendre compte que les molécules de la partie supérieure subissent un effet de traction qui tend à les séparer, tandis que celles de la partie inférieure sont comprimées ; vers le centre de la barre, les molécules n'éprouvent que peu de changement de distance, de sorte qu'il y a avantage de les enlever pour les reporter sur les surfaces extérieures. On aura alors un tube dont toute la matière travaillera pour résister à la flexion et à la rupture.

Les applications de ce principe de Galilée sont très nombreuses : les plumes des oiseaux, les os longs des animaux, qui doivent être à la fois légers et résistants, ne sont que des tubes à parois plus ou moins épaisses ; on construit, pour les vaisseaux, des mâts creux au moyen de douves assemblées ; on fait des meubles légers et très solides avec des tubes de fer, on remplace des colonnes massives par des colonnes creuses de fonte, mais surtout on applique heureusement ce même principe dans la forme à donner à la section des poutres employées dans la construction des édifices et en particulier des ponts. Cette forme est celle d'un

double T, c'est-à-dire que la poutre est formée d'une bande métallique verticale terminée en dessus et en dessous par deux autres bandes horizontales ; cette poutre est aussi résistante que si elle était massive, et elle est évidemment beaucoup plus légère.

C'est grâce à cette propriété que l'on peut, comme on l'a fait dans le pont de Québec, diminuer de beaucoup les effets désastreux du poids dans les constructions métalliques sans nuire à la solidité.

On peut même remplacer la bande verticale d'une poutre par un fort treillis composé de lames entre-croisées. Les passerelles d'approche du pont de Québec offrent un exemple de cette disposition.

Mais les calculs les plus importants que l'on a eu à faire sont ceux qui sont relatifs à la résistance des matériaux, et il fallait prévoir les charges que peut subir une poutre avant de se rompre par flexion ou par tension. Les charges varient avec la longueur et la forme de la section des poutres.

Supposons une poutre fixée par l'une de ses extrémités et appliquons une force, à l'autre extrémité, tendant à produire la rupture. Les études entreprises par de nombreux physiciens ont fait

voir que la force nécessaire pour produire la rupture d'une barre est en raison inverse de sa longueur, proportionnelle à la largeur, et proportionnelle au carré de l'épaisseur, ce qui veut dire qu'une barre résistera d'autant mieux qu'elle sera plus courte et plus épaisse, et qu'en particulier, la résistance augmente beaucoup plus vite avec l'épaisseur qu'avec la largeur. Il résulte de ces lois qu'il y aura avantage de donner à la section des poutres la forme d'un rectangle allongé, plutôt que celle d'un carré, et de prendre le plus grand côté comme épaisseur.

C'est ainsi qu'un simple madrier placé sur la tranche constitue une poutre de très grande résistance, et l'on sait que c'est cette disposition que l'on emploie universellement dans toutes les constructions.

Nous venons de dire qu'une poutre est d'autant plus résistante qu'elle est plus courte ; sa résistance augmente encore si elle est fixée par ses deux extrémités, parce que, précisément, elle se comporte comme une poutre de longueur moitié moindre.

Tous ces principes ont été appliqués dans la construction de la structure métallique du pont

de Québec ; il a fallu en tenir compte dans la disposition à donner aux différentes poutres, dans la forme à adopter pour leurs sections et dans le calcul des longueurs exposées aux efforts de flexion ou de rupture. On conçoit facilement le travail qu'a nécessité, de la part des ingénieurs, l'application rigoureuse de ces lois sur une si grande échelle, et le mérite qui leur revient de l'avoir mené à bonne fin.

La qualité des matériaux à employer était aussi de la plus haute importance. Depuis un certain nombre d'années, l'acier a remplacé le fer dans toutes les constructions métalliques, parce qu'il est plus tenace , plus résistant, et qu'il offre, par suite, plus de garanties de solidité.

L'on sait que l'acier est une combinaison du fer avec une légère proportion de carbone, mais l'on emploie aussi plusieurs autres métaux pour former des aciers jouissant de propriétés particulières : tels sont les aciers au nickel, au manganèse, au molybdène, au tungstène, etc.

Dans la construction du pont de Québec, on a choisi des espèces différentes d'acier, suivant que les poutres, d'après leurs positions dans la struc-

ture métallique, devaient subir des efforts de flexion ou de compression. C'est grâce aux derniers perfectionnements de la science métallurgique que l'on a pu réaliser une structure aussi colossale et dépasser, dans l'envergure de l'arche centrale, toutes les proportions tentées jusqu'à présent.

Enfin, l'étude de la dilatation de la structure métallique n'était pas sans importance. L'on sait que tous les métaux s'allongent sous l'influence de la chaleur et que chacun d'eux a un coefficient spécial de dilatation.

De plus, la dilatation se produit avec une force considérable, et les différentes parties d'une construction métallique doivent être disposées de telle façon qu'elles puissent se dilater librement ; s'il n'en était ainsi, elles se courberaient sous l'effort de la chaleur, ce qui serait une menace sérieuse pour la construction elle-même.

C'est pour cette raison que, dans la construction des lignes de chemins de fer, on laisse un espace entre les deux tronçons voisins des rails ; c'est pour cela également que les grilles des chaudières des machines à vapeur doivent *avoir du jeu* dans la maçonnerie qui les soutient.

Le pont Victoria de Montréal, le plus grand pont du monde lors de sa construction, présente un exemple remarquable des effets de la dilatation. A cause de son orientation par rapport aux points cardinaux, les deux côtés du pont sont successivement chauffés par le soleil, le matin et l'après-midi. La dilatation le courbe alors sous forme d'un arc de cercle, dans deux sens opposés. Cette déformation n'est certes pas visible à l'œil, mais se fait sentir pratiquement sur les boulons qu'elle fait souvent sauter avec une grande énergie.

Comme le pont de Québec devait être exposé à des variations notables de température, il a fallu calculer les allongements possibles de toutes les pièces du pont et de ses différentes sections, et prendre des dispositions spéciales pour permettre aux dilatations de s'effectuer sans danger de déformation.

*

* *

Il nous faut maintenant parler de la construction des piliers ainsi que de l'érection et de la suspension de la travée centrale aux bras cantilevers.

Lorsqu'il s'agit d'un viaduc au-dessus d'une vallée, la construction de piliers en maçonnerie ne présente pas de difficultés particulières. Il n'en est pas de même de l'installation d'une masse de pierres et de béton sur le lit d'un fleuve, surtout d'un fleuve profond et rapide comme le Saint-Laurent.

Il faut, en effet, trouver des moyens qui permettent aux ouvriers d'avoir accès, à pieds secs, sur le fond de la rivière, et de creuser ce fond jusqu'au niveau du roc solide. La méthode employée est celle des *caissons*, ce qui constitue une application importante et ingénieuse de l'air comprimé.

L'installation d'un caisson sur le lit d'une rivière n'est rien autre chose que la répétition en grand de la modeste expérience de la *cloche à plongeur*, exécutée dans tous les cours de physique. Si l'on enfonce une cloche en verre dans l'eau d'un vase quelconque, on constate que l'air de la cloche empêche l'eau d'y pénétrer ; il ne peut y avoir de l'eau et de l'air au même endroit de l'espace en même temps, et si la cloche est maintenue sur le fond du vase, celui-ci s'assèche complètement.

Les caissons employés pour la construction des piliers des ponts sont d'immenses boîtes, à parois de bois très épaisses et très résistantes, ouvertes à la partie inférieure, séparées à l'intérieur en plusieurs parties par de nombreux compartiments, et que l'on enfonce dans l'eau, au moyen de lourdes pierres, jusque sur le lit de la rivière. Pour cette opération, il faut que l'air du caisson puisse sortir par une ouverture pratiquée à la partie supérieure, et que l'eau pénètre à l'intérieur jusqu'au même niveau que celui du fleuve. Si maintenant on ferme le caisson et qu'on projette à l'intérieur, au moyen de pompes de compression, un puissant jet d'air comprimé, toute l'eau du caisson sera chassée par un tuyau approprié, et il suffira, pour qu'il reste vide d'eau, de maintenir constamment l'air à une pression convenable. Dès lors, les ouvriers pourront s'introduire dans le caisson et, travaillant dans l'air comprimé, creuser à leur aise le lit du fleuve.

Pour pénétrer dans le caisson, sans qu'il s'échappe de l'air comprimé, on a imaginé des espèces de cheminées divisées, par des planchers mobiles, en de nombreuses sections dans lesquelles les ou-

vriers passent successivement jusqu'au fond du caisson.

A mesure que l'on creuse le lit de la rivière, le caisson s'enfonce et l'on construit en même temps le pilier en maçonnerie sur sa paroi supérieure, de façon que le sommet du pilier soit toujours en dehors de l'eau. On poursuit cette opération du creusage jusqu'à ce qu'on ait trouvé un fond solide. Il ne reste plus qu'à remplir tous les compartiments du caisson d'une masse de béton, laquelle, une fois solidifiée, constitue la base du pilier.

Le pilier nord du pont de Québec s'appuie sur un fond de roc solide ; pour le pilier sud, on a dû creuser plus de 75 à 80 pieds au-dessous du lit du fleuve, et le fond qu'on a trouvé, réputé très solide, n'est pas le roc, mais un mélange de sable et de gravier que les Anglais appellent du *hardpan*.

Notons, en passant, que le travail des ouvriers dans l'air comprimé est très pénible et ne peut se prolonger longtemps. Le passage de l'air à la pression ordinaire dans l'air comprimé exige des précautions particulières ; les ouvriers ressentent souvent des douleurs aiguës dans les oreilles, et,

lors d'un changement trop brusque de pression, il y a danger d'hémorragies pulmonaires.

*
* *

L'on prétend que, lorsqu'il s'est agi sérieusement pour la première fois de construire un pont près de Québec, l'on a consulté à ce sujet le fameux ingénieur français Eiffel, l'auteur de la tour qui porte son nom ; celui-ci aurait répondu que le projet était réalisable, mais que l'on rencontrerait de sérieuses difficultés dans la pose de la travée centrale, à cause de la profondeur du fleuve et de la rapidité du courant.

L'entreprise était, en effet, très délicate et exigeait, pour être menée à bonne fin, de minutieuses précautions.

La travée centrale, longue de 640 pieds et large de 88, a été construite, dans l'anse de Sillery, à trois milles de l'endroit où elle devait être posée, sur six piliers en béton qui la supportaient, deux au centre et deux à chacune des extrémités. Il fallait la placer ensuite sur des pontons flottants et la remorquer jusqu'au pont lui-même, pour la hisser finalement à 150 pieds de hauteur.

Les pontons ou chalands qui devaient soulever la travée de dessus ses piliers et la transporter à trois milles de distance étaient au nombre de six ; on devait en placer trois, unis par des poutres de fer, à chaque extrémité. Pour arriver à ce résultat, on a appliqué le principe bien connu qui régit tous les corps immergés dans l'eau et les corps flottants, c'est-à-dire le principe d'Archimède.

L'on sait que tout corps plongé dans un liquide subit de la part de ce dernier une poussée égale au poids du liquide qu'il déplace ; il en résulte que cette poussée est inférieure au poids de ce corps, si celui-ci est plus lourd, à volume égal, que le liquide dans lequel il est plongé, et le corps s'enfonce alors avec une force égale à la différence des poids en présence. D'autre part, si c'est le liquide qui est le plus lourd, à volume égal, le corps immergé subit une poussée supérieure à son poids ; il s'élève dans le liquide, et il sort en partie de l'eau jusqu'à ce que la portion immergée déplace un volume d'eau dont le poids égale le sien.

C'est le cas de tous les navires et en général de tous les corps flottants. Un navire s'enfoncera donc dans l'eau d'autant plus profondément qu'il

sera lui-même plus lourd et plus lourdement chargé. Si, dans ces conditions on lui enlève une partie de sa charge, il va sortir quelque peu de l'eau avec une force irrésistible.

C'est cette force de poussée de l'eau que l'on emploie pour le sauvetage des épaves, pour le renflouement des navires naufragés et la mise en cale sèche. C'est aussi cette force que l'on a mis en œuvre pour installer la travée centrale du pont de Québec sur ses pontons flottants.

Ceux-ci, en effet, au moyen de portes que l'on pouvait ouvrir à leur intérieur, furent remplis d'eau et introduits sous la travée, trois à chaque extrémité. On les a vidés ensuite par le jeu de puissantes pompes, ce qui provoqua une énorme poussée égale au poids du liquide déplacé, suffisante pour soulever la pesante masse de la travée centrale, et celle-ci, appuyée sur ses chalands, devenait tout simplement un corps flottant. Il ne restait plus qu'à la transporter jusqu'au site du pont.

L'opération fut exécutée, comme on le sait, le 17 septembre 1917, aux petites heures du jour, par un temps splendide et en présence d'une foule immense, spectacle d'une grandiose solennité dont

le souvenir restera ineffaçable dans l'esprit de ceux qui en furent les témoins émus et charmés.

Le succès de l'entreprise ne pouvait être obtenu qu'au prix de précautions particulières.

Le départ s'effectua vers la fin de la marée montante et à l'époque des grandes marées, afin de profiter du maximum de niveau de l'eau. A cause de l'équilibre précaire de la travée, haute de 120 pieds au-dessus des échafauds par lesquels elle reposait sur les pontons, il fallait éviter toute secousse et toute ondulation de la mer capables de produire des oscillations dangereuses. Une mer calme et une atmosphère à peu près en repos étaient donc de rigueur. Pour procéder avec toute la lenteur nécessaire, à cause de la vitesse du courant, on eut recours à deux équipes de remorqueurs tirant en sens inverses, la première déplaçant la travée vers le site du pont, l'autre jouant le rôle d'ancres mobiles et limitant de la sorte la vitesse du déplacement. Après un temps relativement court et à l'heure exigée pour utiliser le niveau calculé de l'eau, le cortége majestueux était rendu à destination, avec un plein succès, à quelques centaines de pieds du pont.

L'opération la plus délicate et la plus aléatoire, c'est-à-dire placer la travée exactement en ligne avec les cantilevers, l'y maintenir malgré le courant, et fixer solidement, aux quatre coins, les quatre lames d'acier qui devaient la soulever jusqu'au niveau du tablier du pont, et cela très rapidement, avant que le niveau du fleuve ne se soit trop abaissé par suite du retrait de la marée, allait maintenant commencer.

On donna congé au remorqueurs, on fixa aux quatre coins de la travée de puissants câbles d'acier, et la manœuvre d'approche fut effectuée par des treuils, que l'on voyait sur les deux extrémités du pont, et par des palans installés sur des constructions métalliques spéciales accrochées aux deux bras cantilevers. Le rôle de ces espèces de passerelles suspendues était donc purement temporaire, et elles ne devaient servir, avant que d'être supprimées complètement, que de support aux palans et aux câbles qui devaient placer la travée dans la position voulue pour l'ascension.

Sous la direction d'habiles ingénieurs et d'intrépides ouvriers, toutes ces difficiles et délicates opérations furent exécutées avec un rare bonheur, et, vers

9 heures 30 m. du matin, les quatre coins de la travée étaient solidement chevillés aux lames d'ascension, les pontons se détachaient d'eux-mêmes sous l'effort d'un rapide courant, et l'immense structure restait suspendue aux bras cantilevers.

Comme on peut en juger par ce que nous venons de dire, le succès de cette première partie des travaux du parachèvement du pont de Québec supposait le concours de plusieurs conditions favorables qu'il était presque téméraire d'espérer. Outre le beau temps, l'absence du vent et le calme de la mer, il fallait éviter à tout prix le moindre retard, soit dans le transport de la travée, soit surtout dans sa mise en position et dans le chevillage des lames d'ascension aux quatre angles, ce qui exigeait un fonctionnement parfait de toutes les machines et une sûreté d'exécution vraiment remarquable.

On peut se demander ce qui serait arrivé si, par suite d'un défaut de coïncidence parfaite à l'un des angles de la travée, ou à cause de la difficulté de manier rapidement de lourdes pièces métalliques, on n'avait pu effectuer l'accrochage de l'une des lames d'ascension en temps voulu, et si, dès

lors, la travée était restée, par l'effet de l'abaissement du niveau de l'eau, suspendue par trois points seulement... Il est mieux de ne pas essayer de deviner ce qui serait arrivé ! Les ingénieurs qui dirigeaient ces travaux ont dû vivre de terribles minutes d'angoisse !

*
* *

Les journaux nous ont appris que la travée centrale du pont de Québec avait été soulevée au moyen de machines appelées *hydraulic jacks.* Appelons ces machines, en français, des *vérins* ou *crics* hydrauliques ; ce sont tout simplement des *presses hydrauliques* et voyons en peu de mots en quoi elles consistent.

Nous croyons qu'il est à peu près impossible de donner sans figure schématique et sans vignette une description claire et complète de ces machines; nous nous contenterons d'exposer le principe physique sur lequel elles reposent, en laissant de côté la plupart des détails de leur construction. Ce principe est celui de l'*égale transmission des pressions* dans les liquides, ou *principe de Pascal,*

du nom du grand savant français qui l'a énoncé. Voici ce principe, qui est fondamental en hydrostatique :

Toute pression exercée sur une portion quelconque de la surface d'un liquide se transmet, avec la même intensité et dans tous les sens, à toute surface égale prise dans le liquide ou sur la paroi du vase qui le contient.

Il en résulte que toute portion plane, sur la paroi du vase, sera pressée *proportionnellement à sa surface.*

La presse hydraulique, imaginée par Pascal, est une application directe du principe que nous venons d'énoncer. Imaginons deux cylindres ou corps de pompe, de diamètres *très inégaux*, dans lesquels peuvent se mouvoir deux pistons. Les deux corps de pompe sont réunis par un tube, et le tout est entièrement plein d'eau. On conçoit facilement que toute pression exercée sur l'eau par le petit piston va se transmettre intégralement dans toute la masse liquide et sur le grand piston, et ce dernier sera poussé de dedans en dehors avec une force d'autant plus grande qu'il y aura plus de différence entre les diamètres des pistons. Si,

par exemple, la surface du grand piston est 100 fois plus grande que celle du petit et qu'on abaisse ce dernier avec une force de 10 livres, le grand piston subira une pression de 1,000 livres, et l'on arrive, de cette manière, à développer, avec une pression initiale très restreinte, une force de poussée extraordinaire.

L'organe essentiel des crics hydrauliques employés au pont de Québec était un cylindre d'acier très résistant, plein d'eau, et qui contenait un piston de plus de deux pieds de diamètre pouvant sortir à l'extérieur de la longueur de deux pieds : c'est le grand corps de pompe de la presse et c'est le mouvement d'ascension de ce piston qui devait, sous la pousée de l'eau, soulever la travée centrale. Le petit corps de pompe était installé sur le tablier du pont et communiquait avec le premier au moyen d'un petit tube métallique *de moins d'un pouce de diamètre.* Disons tout de suite qu'il y avait quatre crics hydrauliques, correspondant aux quatre angles de la travée à soulever, et que chacun de ces appareils était double, c'est-à-dire possédait deux pistons pouvant déployer une force de 1,000 tonnes chacun. Lorsque les quatre

presses fonctionnaient ensemble, on pouvait donc soulever un poids de 8,000 tonnes.

La mise en œuvre de ces appareils est maintenant facile à comprendre. Sur le tablier du pont, on faisait mouvoir, au moyen de l'air comprimé, le petit piston de la presse. Celui-ci, par son mouvement de va-et-vient, aspirait l'eau d'un réservoir et la refoulait ensuite, par le petit tube métallique,— en réalité il y en avait deux,— dans le grand corps de pompe. A cause de la grande différence des diamètres des deux pistons, une force relativement faible pouvait soulever le grand piston, grâce au principe de Pascal, avec une énergie extraordinaire . .

Quant à la manière dont cette force a été utilisée, qu'il nous suffise de dire que le mouvement du piston ou plutôt des pistons était communiqué aux lames d'ascension par l'intermédiaire d'énormes chevilles d'acier implantées dans des ouvertures de douze pouces de diamètre et disposées à une distance de 6 pieds les unes des autres. Quand les pistons étaient rendus au bout de leur course, et cela pour les quatre machines fonctionnant de concert, on suspendait momentanément

la travée au moyen d'une deuxième série de chevilles, on abaissait les pistons, on fixait de nouveau les premières chevilles après avoir enlevé les autres, une nouvelle poussée des pistons soulevait la travée, et ainsi de suite, de deux pieds en deux pieds, jusqu'à ce qu'elle fût élevée au niveau du tablier du pont.

Ces opérations ont été exécutées avec une précision remarquable. Deux conditions de succès étaient absolument indispensables : une très grande lenteur et un synchronisme parfait dans le mouvement des quatre presses.

En effet, il fallait éviter tout choc, toute secousse qui aurait pu être désastreuse, et, d'autre part, il était essentiel de soulever les quatre coins de la travée avec une égale vitesse et de la même longueur dans le même temps ; s'il n'en avait été ainsi, un excès de traction en un point aurait produit une torsion dangereuse dans la structure métallique de la travée.

Aussi cette dernière a été montée, pour ainsi dire, pouce par pouce, ligne par ligne ; il fallait 15 à 20 minutes et même plus pour chaque course de deux pieds des pistons. De même aussi, pour

obtenir un ensemble parfait dans le mouvement ascensionnel des pistons, les ingénieurs préposés à chacune des machines se contrôlaient mutuellement par téléphone. Grâce à ces précautions et à bien d'autres sur lesquelles nous ne pouvons insister, cette merveilleuse opération de génie civil, presque sans exemple, croyons-nous, dans l'histoire des grandes constructions, a été couronnée d'un plein succès.

Une fois la travée rendue au niveau du tablier du pont, il fallait la fixer définitivement. Quelques-uns ont pensé qu'elle devait s'appuyer par ses deux extrémités sur les bras cantilevers et se demandaient avec inquiétude comment on allait l'introduire dans un espace plus court que sa longueur. Il suffit de dire, pour dissiper cette inquiétude, que la travée ne devait pas s'appuyer sur le tablier du pont, puisqu'elle était plus courte, d'une dizaine de pieds à chaque bout, que la distance en question, mais qu'elle était construite pour être suspendue par ses quatre coins.

Pour arriver à cette fin, on avait fixé, aux quatre angles supérieurs des bras cantilevers, une double série de treize lames d'acier terminées

chacune par un œilleton de douze pouces de diamètre. Une double série analogue de douze lames était également fixée aux quatre angles de la travée. Lorsque celle-ci fut rendue à destination, les lames supérieures et inférieures s'étaient entre-croisées, les œilletons étaient en coïncidence parfaite, et, en y introduisant de puissantes chevilles, la travée était finalement et restera pour toujours suspendue par 104 lames d'acier.

Quant à la force motrice utilisée pour le fonctionnement des vérins hydrauliques, on prit comme point de départ l'énergie électrique des secteurs des rives nord et sud. Le courant, par la rotation de moteurs électriques actionnant des pompes de compression, fournissait l'air comprimé qui, amené par des tuyaux de fer aux extrémités des arches du pont, mettait en mouvement les petits pistons des presses et par suite les grands pistons avec une force notablement multipliée.

Ajoutons que, par mesure de précaution, on avait installé des machines à vapeur pour suppléer l'énergie électrique, en cas d'accidents toujours possibles. Pour la même raison, on avait disposé, près des pistons des presses, de puissantes

vis mues à la main par des ouvriers et qui auraient pu, à elles seules, soutenir la travée, si une fissure dans les cylindres eût fait subitement cesser la pression de l'eau.

Voilà les quelques remarques bien incomplètes que nous nous étions proposé de donner au sujet du pont de Québec. Cette question, pour être traitée comme elle le mérite, demanderait de longs développements et des détails techniques fort compliqués. Comme nous le disions au début de cette étude, nous n'avons voulu que mentionner les principaux principes physiques que l'on a appliqués dans cette remarquable construction. Nous croyons en avoir dit assez pour faire au moins soupçonner les nombreuses difficultés que l'on a heureusement vaincues et faire apprécier tout le mérite et l'honneur qui reviennent aux ingénieurs pour avoir mené à bonne fin une si colossale entreprise.

*
* *

Avant de terminer cette étude, nous tenons à signaler un fait qui ne manque pas d'importance. Les directeurs de la compagnie du pont et les

ingénieurs n'ont pas voulu entreprendre les derniers travaux de parachèvement du pont de Québec sans implorer le secours du ciel et les bénédictions divines. L'on sait que le pont et la travée centrale, avec la permission de S. E. le cardinal Bégin, ont été solennellement bénis par M. l'abbé Maguire, curé de Sillery. Ce dernier a bien voulu prendre place sur la travée centrale, lorsqu'on a effectué son transport jusqu'au site du pont. Nul doute que sa présence ne pouvait manquer de stimuler la foi et le courage des ouvriers dans leur difficile et périlleuse besogne.

Les directeurs de la compagnie du pont ont compris qu'il est toujours bon de se mettre, comme le disait Lincoln, du *côté du bon Dieu*. Le bon Dieu n'est pas l'ennemi de la science, puisque celle-ci n'est que l'étude et l'application des lois de la nature qu'il a lui-même posées avec infiniment de sagesse. L'acte solennel de la bénédiction du pont proclame bien haut que la Providence régit toute chose et que Dieu est le souverain maître de l'Univers.

LES AÉROPLANES

LES AÉROPLANES[1]

L'homme a toujours été tourmenté du désir de voguer dans les airs, et, dans les dix ou quinze dernières années surtout, ce désir est devenu de plus en plus pressant. Maître des continents par les chemins de fer, les automobiles et autres moyens de transport, maître des océans que les navires les plus perfectionnés sillonnent en tous sens, à la surface ou sous les eaux, il ne pouvait abandonner à l'oiseau le domaine de l'atmosphère ; il devait employer les ressources variées de son génie à la solution si captivante du grand problème de la navigation aérienne.

Un premier pas dans la conquête de l'air avait été fait, à la fin du XVIIIe siècle, par les frères Montgolfier, avec les ballons à air chaud, par Charles et Robert, avec les aérostats à hydrogène, et surtout, au commencement du présent siècle, par les dirigeables français et allemands.

---

[1] *La Nouvelle-France*, janvier 1917.

Malgré les perfectionnements de ces machines plus légères que l'air et les résultats importants qu'elles ont permis de réaliser, l'homme se sentait encore bien inférieur à l'oiseau plus lourd que l'air, et, pour imiter le plus parfaitement possible la rapidité, la souplesse et l'élégance de ses mouvements, il fallait simplifier la construction des énormes machines aériennes, il fallait supprimer les encombrantes enveloppes souples ou rigides, gonflées de quantités immenses d'un gaz inflammable et dispendieux, il fallait faciliter le ravitaillement et diminuer les dangers d'atterrissage, en un mot, il fallait réduire au minimum les complications des organes tout en conservant le maximum de puissance.

La solution d'un tel problème, le problème du *plus lourd que l'air*, était-elle possible ? En vue du poids à soulever et à maintenir dans les airs, pourrait-on construire des moteurs capables de développer des forces comparables à celle de l'oiseau ? Pourrait-on imiter ses évolutions gracieuses et compliquées, atteindre une vitesse suffisante pour résister à la violence des vents, enfin procurer aux appareils d'aviation un équilibre assez

parfait pour leur assurer une stabilité à peu près complète ?

L'on sait que ce problème si délicat et si complexe est, de nos jours, en grande partie résolu. L'histoire des sciences offre peu d'exemples de progrès aussi rapides et aussi merveilleux. L'aviation, après une certaine période de tâtonnements et d'essais, est devenue brusquement, presque sans transition, un fait accompli, et la grande guerre qui afflige le monde depuis plus de deux ans, vrai fléau de l'humanité mais en même temps si féconde en inventions et en perfectionnements de de toutes sortes, n'a pas peu contribué à l'épanouissement de cet art nouveau dont les résultats splendides nous frappent d'autant plus d'étonnement qu'ils ont été plus inattendus.

On se rappelle l'enthousiasme des fervents du *plus lourd que l'air*, lorsque Santos-Dumont, en novembre 1906, gagna la coupe Archdeacon accordée au premier aviateur qui parcourrait 150 mètres en ligne droite.

Le 13 février 1908, Farman, monté sur un biplan de son invention, volait un kilomètre en circuit

fermé, gagnant haut la main la coupe Deutsch-Archdeacon.

Le 27 mai, à Rome, Delagrange faisait dix fois le tour de la Place-d'Armes, parcourant ainsi une dizaine de kilomètres en quinze minutes.

Le 4 juillet, Farman, dans un vol de 17 kilomètres en 20 minutes, bouclait 12 fois le terrain d'Issy-les-Moulineaux et gagnait le prix de 10,000 francs offert par M. Armangaud ; le 30 octobre de la même année, Farman, franchissant une longueur de 7 lieues, accomplissait, en 20 minutes et à 200 pieds de hauteur, le premier voyage aérien.

Ces résultats furent bientôt dépassés par l'Américain Wilbur Wright. Le 24 septembre de la même année, il battait Delagrange pour le record de la durée, et le 18 décembre, dans un vol merveilleux pour l'époque, il franchissait 28 lieues en 1 h. 54 m., 45 tours de l'aérodrome d'Auvours, et gagnait la coupe Michelin ; le soir du même jour, Wilbur Wright remportait le prix de hauteur, en passant par-dessus une corde tendue à 100 mètres au-dessus du sol.

Ces succès, quelque importants et quelque honorables qu'ils soient pour les premiers oiseaux *rai-*

sonnables, nous apparaissent bien maigres si on les compare à ceux des aviateurs d'aujourd'hui. Les distances franchies se comptent maintenant par centaines de lieues et les hauteurs atteintes par milliers de pieds. On n'opère plus dans les champs de course ou dans les aérodromes, mais on traverse de France en Angleterre, on survole l'Europe d'un seul trait, on franchit les Alpes dans la région ou au-dessus des nuages, bref, l'aéroplane est devenu un véhicule aussi maniable que le torpilleur ou l'automobile.

La guerre actuelle a été l'occasion d'un développement extraordinaire de la science de l'aviation. Grâce à de nombreux perfectionnements dont les détails ne seront connus qu'après la conclusion de la paix, grâce aussi à l'intrépidité et à l'audace prodigieuses des pilotes, l'avion a révolutionné complètement les méthodes jusque-là en usage de la tactique militaire. C'est lui qui, du haut des airs, pénètre les secrets des tranchées ennemies, et découvre la position de la mitrailleuse traîtresse et des batteries abritées. C'est lui qui, par la télégraphie sans fil ou autres signaux, permet aux artilleurs de pointer leurs pièces sur

des buts invisibles, et qui, par là-même, donne aux canons à longue portée la maîtrise des champs de bataille. C'est lui, enfin, qui, au moyen de bombes incendiaires tombées du ciel, sème en arrière des lignes de combat le désordre et la destruction dans les dépôts de munitions, disperse les convois de ravitaillement, et dirige, par les précieuses indications qu'il fournit, ces terribles feux de barrages, véritables rideaux enflammés derrière lesquels l'infanterie s'avance en sécurité et qui paralysent l'intervention des réserves ennemies ; il est, en un mot, comme on l'a si pittoresquement qualifié, l'*œil* de l'artillerie.

Et que dire de ces terrifiants combats aériens dont les seuls récits nous glacent d'épouvante ! Que dire de ces avions blindés, portant canons et mitrailleuses, tellement souples, si bien équilibrés que les pilotes peuvent quitter le volant pour ne s'occuper que de faire feu sur l'ennemi ! Que dire de ces manœuvres stupéfiantes dans la région des nuages, de ces descentes en *feuille morte*, en *vrille*, de ces chutes simulées de plusieurs milliers de pieds pour mieux tromper l'adversaire !

Oui, nous pouvons le répéter, l'histoire des

sciences offre peu d'exemples de progrès plus rapides et plus inattendus.

*
* *

Sans entrer dans des détails techniques qui n'intéresseraient pas la majorité des lecteurs, proposons-nous seulement, dans cette modeste chronique, de déterminer les principes sur lesquels s'appuie le fonctionnement des aéroplanes, ainsi que de signaler les obstacles qu'il a fallu vaincre pour réaliser le vol mécanique.

Nous croyons, pour atteindre plus facilement notre but, qu'il importe avant tout de décrire un appareil connu de tout le monde et qui contient en entier le principe de l'aéroplane : cet appareil est le *cerf-volant*.

Le *cerf-volant*, dans sa forme essentielle et pour ainsi dire classique, est un quadrilatère de papier collé sur une croix de bois à bras inégaux ; des cordelettes, partant des sommets du quadrilatère, aboutissent en un point convenablement choisi où l'on attache une longue corde qui le fixera au sol ; à sa partie inférieure on suspend une *queue* qui sert à le lester. Le cerf-volant, grâce à cette

dernière, se tient obliquement par rapport au vent, et celui-ci agit sur son plan comme sur les voiles d'un navire. La force du vent, par suite de la règle du parallélogramme des forces, développe une composante verticale qui le soutient malgré son poids et le fait monter très haut, si la vitesse du courant aérien est assez considérable.

Le cerf-volant en équilibre dans l'air est alors soumis à trois forces, celle de la corde qui le retient, celle du vent qui le soutient et celle de son poids qui tend à le faire tomber. Il suffit donc, pour faire monter un cerf-volant, que la composante de la force du vent soit supérieure au poids de l'appareil.

Or, comment varie la force du vent par rapport à sa vitesse, ou, ce qui est la même chose, quelle est la résistance que l'air oppose au déplacement d'une surface quelconque dans sa masse ? Cette résistance est donnée par la loi suivante, énoncée par Newton, et qui constitue le principe du cerf-volant : la résistance de l'air est proportionnelle à cette surface, et proportionnelle également au carré de la vitesse dont elle est animée. D'après cette loi, la pression du vent sur une surface aug-

mente très rapidement, à mesure que sa vitesse s'accélère : pour une vitesse double, cette pression devient quadruple et, pour une vitesse triple, neuf fois plus considérable.

On comprend alors pourquoi le cerf-volant peut se soutenir et monter dans l'air, malgré son poids ; on comprend également qu'il sera impossible de le lancer en l'absence du vent, à moins de le déplacer rapidement à la surface du sol, comme le font les enfants.

Dans ces dernières années, on a beaucoup perfectionné le cerf-volant, au double point de vue de la puissance et de la stabilité. On a remplacé l'antique quadrilatère de papier par de véritables boîtes ouvertes formées d'un cadre léger recouvert de toile : ce sont les cerfs-volants cellulaires, simples ou doubles, qui peuvent monter jusqu'à 15,000 pieds de hauteur et auxquels on confie des instruments enregistreurs pour l'exploration de la haute atmosphère. Ils servent aussi de soutien aux antennes de télégraphie sans fil des postes militaires.

*
* *

Du cerf-volant à l'aéroplane la transition est naturelle : tous les deux, ils appliquent de la même manière la loi de la résistance de l'air. Le vent, en effet, est quelque chose de relatif ; au point de vue de la pression que subit une surface quelconque de la part de l'air, l'effet produit est le même, soit que l'air en mouvement frappe cette surface supposée immobile, soit que cette même surface se déplace dans des couches d'air en repos. Le cerf-volant, retenu au sol par une longue corde, utilise la force développée par le mouvement de l'air ; l'aéroplane, par la vitesse propre que lui donne un moteur actionnant un propulseur, donne naissance, dans l'air qu'il comprime, à une force qui peut le soutenir malgré son poids.

Ce principe de la résistance de l'air est appliqué principalement dans l'aéroplane, mais ce n'est pas la seule tentative qui ait été faite pour résoudre le problème des machines volantes.

On distingue trois espèces de ces machines : les *ornithoptères*, ou machines à deux ou plusieurs *ailes battantes ;* les *hélicoptères* ou machines utilisant les propriétés de l'hélice pour soulever l'aéronaute avec son matériel, en même temps que

pour la propulsion dans l'air, une fois le premier résultat atteint ; les *aéroplanes*, imitant le vol *plané* des oiseaux, sans aucun mouvement des ailes.

Les aéroplanes seuls ont donné des résultats positifs et ce sont les seuls dont nous dirons maintenant quelques mots.

Comme nous l'avons exposé plus haut, un aéroplane n'est rien autre chose qu'un cerf-volant qui, grâce à un moteur actionnant un propulseur, se déplace rapidement par rapport à l'air et rencontre, de la part de ce dernier, une *résistance* supérieure à son poids. Il imite les oiseaux de proie qui, après s'être élevés à une certaine hauteur, glissent, les ailes étendues et immobiles, sur les couches d'air comme sur un plan incliné, puis s'élèvent de nouveau par quelques légers coups d'ailes, pour recommencer le même mouvement de descente insensible, comme on voit les hiboux décrire des courbes nombreuses et patientes au-dessus des basses-cours.

Les aéroplanes, puisqu'ils doivent se déplacer rapidement dans l'air, ne sont devenus possibles qu'après l'invention et le perfectionnement des

moteurs à explosions, lesquels développent une force considérable sous un poids relativement très restreint. C'est cette force qui fait tourner une hélice ordinairement à deux ailes, l'organe essentiel de la propulsion, dont l'effet dans l'air s'explique de la même manière que dans l'eau.

Pour utiliser la résistance de l'air, l'aéroplane est muni de surfaces sustentatrices simples ou doubles, suivant que l'appareil est un *monoplan* ou un *biplan*. On a reconnu par l'expérience qu'elles doivent être beaucoup plus longues que larges et qu'elles doivent aussi se déplacer dans l'air perpendiculairement à leur longueur.

Supposons maintenant que les ailes de l'aéroplane soient légèrement relevées vers le haut d'un certain angle qu'on appelle *angle d'attaque :* le mouvement de la machine développe alors dans les couches d'air deux forces, l'une dirigée en sens contraire du déplacement, appelée *résistance à l'avancement*, l'autre agissant sur les ailes de bas en haut et qu'on pourrait appeler *composante de sustentation*. Pour que l'aéroplane progresse et se soutienne dans l'air, il suffit, d'une part, que l'effort de propulsion de l'hélice puisse vaincre la

première force, et que, d'autre part, la composante de sustentation soit au moins égale au poids total de l'appareil.

L'expérience a fait voir que, pour un angle d'attaque de 5° environ, la résistance à l'avancement est très faible, et que l'autre force, presque verticale, produit, pour une valeur réduite, son maximum d'effet.

Mais ce n'est pas tout de réussir à soulever et à déplacer un aéroplane dans l'air ; il faut aussi pourvoir à son équilibre et à sa stabilité, car les couches d'air, rarement immobiles, sont le plus souvent traversées par des courants et des remous fort compliqués. Il en résulte des mouvements de roulis et de tangage qu'il faut éviter à tout prix. On y arrive soit par le *gauchissement des ailes*, ce qui permet de faire varier la résistance de l'air sur l'une ou l'autre de leurs extrémités, soit, pour atténuer le tangage, par l'emploi de surfaces horizontales dont la queue de l'avion est munie.

Les évolutions à droite ou à gauche et les *virages* sont obtenus par des *gouvernails de direction*, c'est-à-dire des plans verticaux mobiles qui fonctionnent comme les gouvernails des navires.

Enfin, pour les mouvements de montée et de descente, l'aviateur fait mouvoir un *gouvernail de profondeur* que l'air frappe en dessus ou en dessous suivant la position qu'on lui donne.

Nous avons dit qu'un avion ne peut se maintenir dans les airs que s'il est animé d'une grande vitesse ; il ne peut donc pas se soulever lui-même, et, pour partir, il faut le *lancer*, en imitant les grands oiseaux, comme les aigles et les condors, qui courent sur le sol, les ailes étendues, avant de prendre leur essor.

A cet effet, la machine est montée sur roues à bicyclettes ; on met l'hélice en mouvement, et l'avion, les ailes légèrement relevées vers l'avant, roule sur le sol comme un chariot. La résistance de l'air soulève la machine lorsque la vitesse est assez considérable, les roues quittent le sol, et le chariot devient aéroplane.

Ces quelques détails suffisent, croyons-nous, pour faire comprendre le principe des machines volantes et les nombreuses difficultés qu'il a fallu vaincre pour en assurer le bon fonctionnement. Le métier de pilote d'aéroplane est difficile et dangereux, et si l'homme peut se flatter d'avoir à peu

près réalisé la conquête de l'air, ce n'est qu'après une suite d'efforts persévérants et soutenus, et après avoir inscrit au martyrologe de la science une longue liste de victimes.

L'aéroplane n'a pas échappé au sort réservé à la plupart des inventions humaines : dès le début, on a songé à ses applications militaires, et l'on sait quelle arme efficace et terrible il est devenu. Fasse le ciel qu'il ne serve jamais qu'à la défense des nobles causes, et qu'après la conclusion de la paix il soit employé à autre chose qu'à jeter des bombes incendiaires et à diriger le feu de l'artillerie.

LA VOIX HUMAINE

LA VOIX HUMAINE[1]

Il y a longtemps que les physiciens et les physiologistes travaillent à la solution du problème de la voix humaine, et l'on peut dire que, parmi tous ceux qu'ils ont abordés, il y en a peu qui offrent autant d'intérêt et, en même temps, plus de difficultés.

L'organe de la voix est considéré comme l'instrument de musique le plus délicat et le plus perfectionné ; il était donc naturel que l'on cherchât à lui appliquer les théories acoustiques sur lesquelles repose le fonctionnement des instruments de musique qui lui ressemblent le plus.

Comme une clarinette, un hautbois, et mieux encore comme un tuyau d'orgue à anche, avec lesquels elle a beaucoup d'analogie, la voix humaine, lorsqu'elle *chante*, émet une suite de sons dont l'étendue varie avec l'âge et le sexe ; le caractère des sons produits est également variable d'une personne à l'autre, et, dans ces deux cas,

(1) *Le Parler français*, septembre et octobre 1917.

tout s'explique par les lois ordinaires qui régissent la hauteur et le timbre des différents sons. Jusque-là, il n'y a donc rien de particulier.

Mais l'homme ne fait pas seulement que chanter ; il y en a même beaucoup qui ne chantent jamais ou qui le font d'une manière plus ou moins convenable.

Ce qui caractérise surtout la voix humaine, ce qui en fait un organe unique en son genre, auquel rien ne peut être comparé et que le ciel n'a donné qu'à l'homme, c'est cette merveilleuse faculté d'émettre certains sons particuliers d'où résulte la *parole articulée*. C'est ici que surgissent les plus grandes difficultés, et c'est pour expliquer le mécanisme de la parole que les physiciens ont épuisé, pour ainsi dire, les ressources de leur génie.

Il n'y a pas encore de théorie complète et définitive de la parole articulée ; les deux principales sont celle d'Helmholtz qui a joui d'une grande faveur dans la science jusqu'à ces dernières années, et celle du Dr Marage, le célèbre physiologiste parisien. Ce sont ces deux théories que nous essayerons d'exposer, le plus clairement que nous le pourrons.

*
* *

L'étude que nous allons faire suppose certaines connaissances d'acoustique que nous croyons indispensable de donner.

Rappelons, en premier lieu, que tout son est le résultat de vibrations des corps élastiques, ou que toutes vibrations suffisamment rapides produisent des sons.

Choisissons, entre mille, pour prouver cet énoncé, une seule expérience.

Faisons vibrer un *diapason* et approchons l'une de ses lames vibrantes d'un corps dur quelconque : on entend alors distinctement les chocs répétés de cette lame pendant tout le temps que l'instrument rend un son.

Il en est de même pour tous les corps vibrants. Chaque fois qu'un corps élastique est dérangé de sa position d'équilibre et qu'il vibre avec une certaine rapidité, il engendre toujours un son, qu'il soit solide, liquide ou gazeux.

En second lieu, on reconnaît, dans tout son musical, trois qualités particulières : l'*intensité*, la *hauteur* et le *timbre*.

L'*intensité* est cette qualité qui fait qu'un son est *fort* ou *faible*, c'est-à-dire agit avec plus ou moins d'énergie sur l'oreille.— Elle dépend de l'*amplitude* des vibrations. Un diapason, que l'on frappe avec violence sur un obstacle rigide, rend un son intense parce que ses lames s'écartent largement de part et d'autre de la position d'équilibre. On constate, d'autre part, que le son d'affaiblit à mesure que l'amplitude du mouvement vibratoire diminue.

La *hauteur* du son est cette qualité par laquelle un son est plus ou moins *grave* ou *aigu*, et elle résulte du *nombre* de vibrations exécutées pendant un temps donné. Les sons aigus correspondent aux vibrations rapides, et les sons graves aux vibrations plus lentes.

Enfin, le *timbre* du son est ce qui nous fait distinguer les uns des autres des sons qui auraient même hauteur et même intensité. Personne ne confond le son d'un violon avec celui d'une clarinette ou d'un piano. C'est aussi par le timbre que l'on distingue les innombrables voix humaines ; chaque individu a une voix qui n'est pas

celle de son voisin et qui le caractérise en quelque sorte comme les traits de sa figure.

On a longtemps ignoré la cause du timbre ; on l'attribue aujourd'hui aux *harmoniques* qui accompagnent presque toujours tout son fondamental donné.

L'expérience, en effet, a démontré que la plupart des sons sont composés, et qu'au son fondamental, déterminé par le nombre de ses vibrations, se superposent presque toujours un nombre très grand de sons plus faibles et de plus en plus aigus, de sorte que les sons des différents instruments de musique résultent d'un mélange de vibrations très compliqué.

C'est ce qu'il est facile de faire voir avec des cordes sonores.

Si l'on effleure légèrement une corde aux endroits convenables, pendant qu'on l'attaque avec un archet, on entend toute une suite indéfinie de notes très élevées qu'on appelle les *harmoniques* du son fondamental donné par cette même corde, lorsqu'elle vibre dans toute sa longueur. Toutes ces notes, que l'on isole par ce moyen, prennent toujours naissance en même temps que le son

principal, et le manque d'attention seul est cause qu'elles passent ordinairement inaperçues. Il suffit d'éteindre le son fondamental avec une plume d'oie pour les faire entendre clairement et distinctement.

On démontre également que les tuyaux sonores et tous les instruments à vent donnent une suite analogue d'harmoniques parfaitement caractérisés.

Or, suivant la nature et la forme de ces instruments, ce ne sont pas les mêmes harmoniques qui prédominent, soit par leur présence, soit par leur intensité. On a donc, dans ces conditions, des mélanges variables de sons, et, par suite, des sons de caractères, c'est-à-dire de *timbres* différents.

C'est de la même manière que l'on explique les timbres particuliers des différentes voix humaines. Le larynx, l'organe de la voix, est surmonté des cavités pharyngienne, nasale et buccale dont les formes et les volumes varient d'un individu à l'autre ; il en résulte une diversité profonde dans le nombre et l'intensité des harmoniques de la voix, et, par suite, une variété presque infinie de timbres différents.

Il reste à dire quelques mots, comme derniers préliminaires, de la *résonance musicale*.

C'est ce phénomène par lequel un corps sonore quelconque se met à vibrer par *influence* quand le son qu'il peut rendre lui-même est émis dans le voisinage.

Supposons, d'une part, un tuyau d'orgue rendant la note ut_3, c'est-à-dire dont la masse d'air limitée par ses parois, à cause de sa longueur et de son volume, exécute 512 vibrations simples par seconde.— Considérons, d'autre part, un diapason qui donne la même note musicale. Si, dès lors, on approche le diapason, pendant qu'il vibre, de la bouche du tuyau, ce dernier résonne aussitôt; la colonne d'air est ébranlée par les vibrations du diapason, elle vibre par *résonance*.

Un diapason donnant une autre note, la_3 par exemple, n'a aucune influence sur le même tuyau, tandis qu'il provoquera la résonance d'un autre tuyau dont la note serait la même que la sienne.

De même, il suffit de chanter une note quelconque devant un piano ouvert, dont on a soulevé la pédale, pour que la corde qui donne le même nom-

bre de vibrations se mette immédiatement à vibrer.

Le même phénomène se produit avec des éprouvettes à pied, dont on fait varier convenablement la longueur en y versant de l'eau. On est averti que la colonne d'air de l'éprouvette a la longueur voulue pour vibrer par influence, lorsque, en versant de l'eau ou en soufflant près de ses bords, le son produit par l'eau qui tombe ou par le courant d'air est le même que celui que l'on veut renforcer. — Il est à remarquer, de plus, que la masse d'air peut renforcer également les *harmoniques impairs* du premier son.

Ces exemples font voir que tout corps sonore qui vibre par influence peut servir à découvrir l'existence du son qu'il peut renforcer ; il constitue alors, par cette propriété importante, ce qu'on appelle un *résonnateur*.

Les plus employés, pour l'étude des sons composés, sont des *tuyaux sphériques* de verre ou de métal qui jouissent de la faculté de ne renforcer qu'un seul son, avec ses harmoniques, lequel dépend du diamètre de la sphère. En introduiasnt la partie conique du résonnateur dans le conduit

de l'oreille, le son renforcé par la résonance de la masse d'air intérieure se fait entendre avec une grande intensité.

C'est au moyen de résonnateurs de ce genre, de dimensions différentes et ne renforçant chacun qu'un seul son, que le physicien et physiologiste Helmholtz a démontré la théorie du timbre telle que nous l'avons établie plus haut, et qu'il a fait l'analyse des sons composés.

Il suffit pour cela d'appliquer successivement à son oreille une série de résonnateurs convenablement accordés, pendant que le son à analyser est produit dans le voisinage. Si ce dernier est une combinaison de sons harmoniques avec un son fondamental, chaque résonnateur fait un choix dans ce mélange complexe, il résonne pour le son qu'il rend lui-même, mais reste silencieux pour tout son qui n'est pas à l'unisson avec le sien. L'énergie avec laquelle la résonance se produit permet de juger de l'intensité d'un harmonique en particulier et du rôle qu'il joue dans la constitution du timbre que l'on étudie.

Grâce à cette méthode, Helmholtz est arrivé aux importantes conclusions suivantes :

Les sons simples, sans harmoniques, c'est-à-dire qui ne correspondent qu'à une seule espèce de vibrations, sont très rares, et ne font vibrer qu'un seul résonnateur. Tels sont les sons rendus par les diapasons. Ceux de certains grands tuyaux d'orgue fermés, et celui de la voix humaine prononçant la voyelle *ou* sont presque simples, c'est-à-dire que leurs harmoniques ont très peu d'intensité. Ces sons n'ont pas d'éclat, sont ternes, et n'ont pas de timbre bien caractérisé.

La plupart des sons musicaux sont composés, c'est-à-dire résultent d'un son fondamental accompagné d'un nombre plus ou moins grand d'harmoniques.

Les sons les plus agréables sont ceux où prédominent les harmoniques inférieurs, comme ceux des cordes graves du piano, et qui ne renferment pas trop d'harmoniques supérieurs, tandis que le timbre nasillard de la clarinette est dû à l'absence des harmoniques de rang *pair*.

Enfin, les formes et les dimensions fort changeantes des cavités buccales et des fosses nasales sont la cause, par la prédominance ou l'absence

de tels ou tels harmoniques, des timbres si variés que l'on constate dans les différentes voix humaines.

* * *

Nous pouvons maintenant, après ces préliminaires peut-être un peu longs mais indispensables, aborder l'étude de la voix humaine.

Nous avons dit plus haut que l'on compare l'organe de la voix à un instrument de musique, et que celui qui lui ressemble le plus est un tuyau à anche muni d'un résonnateur.

Les tuyaux à anche sont de deux sortes : les tuyaux à *anche battante* et les tuyaux à *anche libre*.

Un tuyau à anche battante se compose d'un *porte-vent*, à section assez large par rapport à la longueur, et fermé par un bouchon percé d'une ouverture par où se fait la communication avec l'air extérieur. Cette communication a lieu par l'entremise d'une pièce métallique creuse, appelée *rigole*, disposée à la partie inférieure du bouchon et sur laquelle s'appuie une languette élastique, nommée *anche* ; celle-ci est fixée par l'une de ses

extrémités et, à chacune de ses oscillations, elle ouvre et ferme successivement la rigole, par suite établit ou supprime brusquement la communication avec l'extérieur.

Les vibrations de l'anche produisent donc des sorties intermittentes, des bouffées périodiques d'air, et ce sont ces vibrations de l'air qui engendrent un son musical continu.

Les sons de l'anche battante sont criards parce que celle-ci frappe la rigole à chaque vibration. On corrige un peu ce défaut au moyen d'un *cornet d'harmonie*, placé sur le porte-vent, et qui joue le rôle d'un résonnateur modifiant, selon sa forme et son volume, le timbre du son fondamental de l'anche.

Dans l'*anche libre*, on remplace la rigole par une caisse rectangulaire percée d'une fenêtre ; la languette, placée dans cette fenêtre, peut se courber de part et d'autre de celle-ci sans toucher ses bords, et les sons produits sont plus agréables que ceux de l'anche battante.

C'est au moyen de tuyaux de ce genre, munis de résonnateurs appropriés qui renforcent des harmoniques différents, que l'on imite dans les orgues

les timbres du violon, du violoncelle, du hautbois, de la clarinette et, du moins un peu, de la voix humaine.

L'anche, lorsqu'elle est métallique, par conséquent plus ou moins lourde, doit être accordée sur la note que donne le porte-vent, bien qu'un synchronisme parfait ne soit pas nécessaire. Dans ce cas, c'est l'anche qui gouverne les vibrations de la colonne d'air.

Si, au contraire, l'anche est très flexible et légère, comme les anches en roseau de la clarinette et du hautbois, c'est la colonne d'air qui commande les vibrations de l'anche, et celle-ci s'accommode facilement aux exigences de volumes d'air de longueurs très variables. C'est ce qui explique pourquoi on peut, dans ces instruments, produire toute la série des notes employées en musique, avec une seule et même anche.—Nous attirons l'attention du lecteur sur ce fait qui nous servira bientôt dans l'étude des sons voyelles.

Donnons maintenant une courte description de l'organe de la voix et voyons comment on peut le comparer à un tuyau à anche.

L'organe de la voix s'appelle le *larynx* ; il est situé à la partie supérieure de la trachée-artère,

c'est-à-dire le tube qui amène l'air chassé par les poumons, et la couronne à la façon d'un chapiteau. C'est une espèce de caisse de forme irrégulière constituée par cinq cartilages mobiles que des muscles peuvent déplacer les uns par rapport aux autres.

Le plus connu de ces cartilages a la forme d'un dos de livre à demi-ouvert et qui fait saillie sous la peau du cou : c'est, de son nom savant, le cartilage *thyroïde*. Les profanes l'appellent la *pomme d'Adam*.

A l'intérieur du larynx et à la partie inférieure, se trouvent deux bandes *musculo-tendineuses*, les muscles *thyro-aryténoïdiens* ; ces bandes élastiques, appelées ordinairement *cordes vocales*, sont placées horizontalement, elles se confondent en une seule, en avant, et peuvent s'écarter plus ou moins l'une de l'autre comme les branches d'une paire de ciseaux, soit sous la forme d'un V ouvert, soit sous forme d'une fente à bords parallèles. Cet espace limité par la position des cordes vocales s'appelle la *glotte*, et c'est à son niveau, comme on peut le croire, que les sons de la voix prennent naissance.

A la partie supérieure du larynx, il y a deux ligaments qu'on nomme improprement *cordes vocales supérieures* ; l'espace limité entre celles-ci et les cordes vocales inférieures constitue les *ventricules de Morgagni*.

Les sons de la voix ont même origine que ceux des tuyaux à anche ; comme nous l'avons expliqué plus haut pour ces tuyaux, ils sont dus à des sorties intermittentes et périodiques d'un courant d'air. Lorsque les cordes vocales, en se rapprochant, ferment le larynx, le courant d'air des poumons est arrêté ; lorsqu'elles s'écartent, au contraire, le courant d'air passe ; il y aura donc une vibration double pour chaque rapprochement suivi d'un écartement. Si ce mouvement des cordes vocales est assez rapide, les pulsations de l'air qui en résultent produiront un son musical ; en particulier, si les cordes vocales laissent passer et arrêtent l'air des poumons 435 fois par seconde, le larynx émet la note la_3, celle qui sert à accorder les violons. Les sons de la voix humaine ne sont donc pas dus aux vibrations des bandes vocales elles-mêmes, mais, comme dans les tuyaux à anche, sont produits par les sorties intermittentes, c'est-

à-dire par les vibrations de l'air qui vient des poumons. C'est l'air qui est le corps vibrant, et la voix est une *vibration aéro-laryngienne.* Toutefois, les cordes vocales, suivant leur état physique, peuvent ajouter à cette vibration des harmoniques qui modifient le timbre et c'est là l'une des causes de la grande diversité que l'on constate dans les différentes voix humaines.

Il est important de faire remarquer que le larynx est extrêmement mobile ; non seulement il change de forme à chaque note émise, mais encore il peut se déplacer verticalement. Il s'abaisse dans l'émission des notes graves, la glotte s'élargit et s'agrandit, et le son produit est renforcé par les vibrations de l'air sous-glottique : c'est ce qu'on appelle la *voix de poitrine.*

Lorsqu'on chante, au contraire, les notes aiguës, le larynx se soulève en même temps qu'il se rétrécit et la glotte devient très courte et très étroite : c'est la *voix de tête.* A proprement parler, ces expressions, *voix de poitrine* et *voix de tête*, sont impropres. Toutes les notes se forment au niveau de la glotte, et il n'y a à distinguer que le registre grave et le registre aigu.

Immédiatement au-dessus du larynx se trouvent trois cavités jouant dans la phonation le rôle de résonnateurs et qu'on appelle, pour ce motif, *résonnateurs supra-laryngiens* : ce sont le *pharynx*, le *nez* ou *fosses nasales* et la *bouche*.

Le *pharynx* est une sorte de carrefour qui communique, en bas, avec l'œsophage et le larynx, et en haut, avec le nez et la bouche. Les fosses nasales sont séparées de la bouche par le palais fixe et le voile du palais mobile ou la *luette*. La position de cette dernière permet de faire passer l'air qui vient des poumons soit par la bouche seule, soit par le nez seul, soit par le nez et la bouche à la fois. Pendant la phonation, le pharynx subit des changements continuels de forme et de volume. De même aussi, la forme de la cavité buccale est essentiellement variable, par le mouvement et la position du voile mobile du palais, des joues, de la langue et des lèvres.

La fonction des résonnateurs supra-laryngiens est de renforcer et de transformer les sons qui prennent naissance dans la glotte, et si l'on n'oublie pas que ces résonnateurs, contrairement à ceux de nos laboratoires, sont de forme et de vo-

lume très variables, on peut se figurer la complication des sons émis par une bouche humaine, surtout s'il s'agit du langage articulé.

Comparons maintenant l'organe de la voix avec notre tuyau à anche que nous avons décrit plus haut.

La ressemblance est frappante.

Les poumons, qui produisent le courant d'air nécessaire à la phonation, sont représentés par la soufflerie sur laquelle le tuyau est fixé ; le larynx, avec ses cordes vocales vibrantes, c'est le porte-vent avec son anche battante ou libre, et les résonnateurs supra-laryngiens, c'est le cornet d'harmonie ou le résonnateur pyramidal qui surmonte le tuyau et qui, par ses vibrations propres, en modifie le timbre.

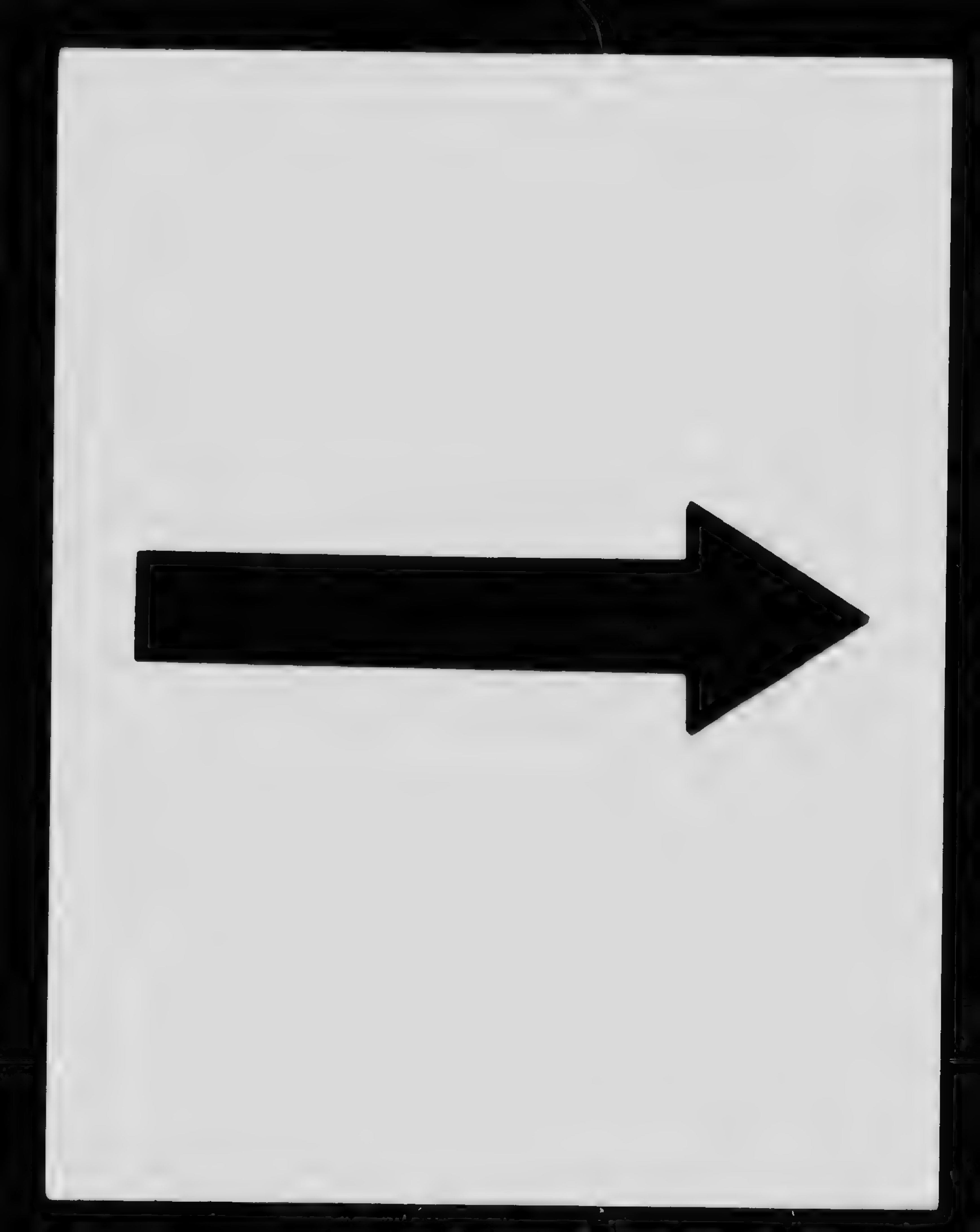
Voilà pour la ressemblance. Mais il y a des différences essentielles qu'il faut signaler.

Un même tuyau, une fois que l'anche a été accordée, ne peut donner qu'une note, et, pour produire la suite des sons exigés en musique, il faut autant de tuyaux que de notes, et ces tuyaux, ainsi que les anches, doivent être de plus en plus petits pour faire entendre des sons de plus en plus aigus.

L'organe de la voix, au contraire, peut, lui seul, produire tous ces sons, parce que les cordes vocales, étant des muscles, peuvent s'allonger et se raccourcir, se contracter plus ou moins, de manière à vibrer plus ou moins rapidement, parce que, de plus, les résonnateurs supra-laryngiens sont essentiellement variables de forme et de volume, comme le larynx lui-même, de telle sorte qu'ils peuvent renforcer ou modifier un très grand nombre de sons différents. C'est d'ailleurs ce qui arrive dans les instruments à anche, comme la clarinette, où la position des doigts de l'exécutant change continuellement la longueur des parties vibrantes de la colonne d'air.

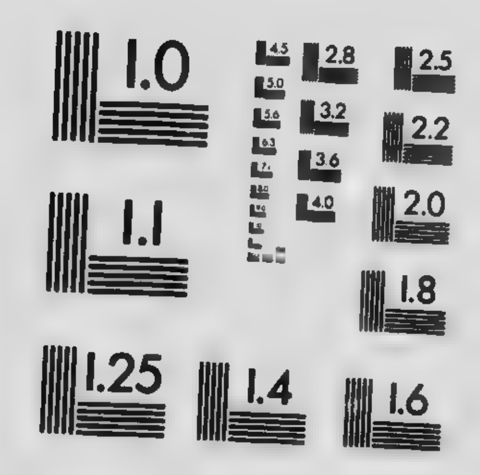
On peut donc dire que l'organe de la voix est en quelque sorte un tuyau à anche de dimensions variables.

Ajoutons que le larynx n'a pas le même volume et que les cordes vocales n'ont pas la même longueur chez les différents individus. Aux larynx développés et aux cordes vocales longues correspondent les voix graves, tandis que les larynx plus petits et les cordes vocales courtes produisent les voix aiguës. On répartit les voix entre



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





cinq registres principaux qui sont ceux de *basse*, *baryton* et *ténor*, pour les hommes, et ceux d'*alto* et *soprano*, pour les femmes ou les jeunes enfants.

Dans le jeune âge, alors que le larynx a des dimensions restreintes, tous les hommes, de même que les animaux, sont *sopranos* ; il n'y a qu'une exception : c'est le veau, qui est baryton de naissance.

*
* *

Les remarques qui précèdent font voir que l'on explique facilement la *voix chantée* par les lois ordinaires de l'acoustique, et qu'il n'y a pas de ce côté de difficultés particulières.

Il n'en est pas de même de la *voix parlée* ou du *langage articulé*. Ici les choses se compliquent et la solution de ce difficile problème est loin d'être complète.

Le langage articulé se compose de deux éléments : les *voyelles* et les *consonnes*. Nous mettrons de côté, pour le moment, l'étude des consonnes, et nous nous occuperons uniquement des voyelles, et, parmi celles-ci, des *voyelles fonda-*

mentales, Ou, O, A, É, I. Les autres ne sont que des modifications de celles-ci.

Les voyelles sont des sons persistants, continus, que l'on peut émettre indéfiniment, et qui se distinguent les uns des autres par des caractères, des timbres particuliers dont il s'agit de chercher l'origine.

Deux théories principales sont en présence : celle d'Helmholtz, admise presque exclusivement dans la science jusqu'à ces dernières années, et celle du Dr Marage, médecin et physiologiste bien connu de Paris.

Pour faire mieux comprendre la théorie d'Helmholtz, reprenons notre tuyau à anche de tout à l'heure.

Nous avons déjà constaté que l'on modifie le timbre de ce tuyau en lui associant des cornets d'harmonie de forme et de volume différents. Avec un même tuyau pyramidal que l'on ferme ou que l'on ouvre avec la main d'une manière déterminée, on peut produire des sons qui présentent des ressemblances frappantes avec la parole humaine ; en particulier, par suite de la variation des harmoniques qui résultent du mouve-

ment de la main, le tuyau prononce distinctement le mot *maman*. Si l'on enlève le résonnateur et qu'on ferme et ouvre rapidement la partie supérieure du porte-vent, on lui fait dire *oui* avec une saisissante réalité.

Ces expériences bien interprétées s'expliquent par la théorie d'Helmholtz, laquelle peut se résumer ainsi :

Lorsqu'on prononce une voyelle, les cordes vocales vibrent comme des anches membraneuses et donnent une note fondamentale accompagnée d'un grand nombre d'harmoniques ; en même temps, la cavité buccale prend une forme déterminée et toujours la même pour chaque voyelle, et à laquelle correspond une note déterminée. Comme cette note se trouve dans la série des harmoniques du larynx, la bouche la renforce : c'est cette note qu'on appelle la *vocable* de la voyelle en question, et chaque voyelle en exige ordinairement plusieurs. Une voyelle déterminée est donc constituée par la réunion de la note fondamentale laryngienne et de la vocable ou des vocables caractéristiques de cette voyelle, et ces vocables, indépendantes de la hauteur du son laryngien

et de la personne qui parle, sont toujours en rapport harmonique avec le son fondamental émis par le gosier.

On voit donc que si la voix, considérée comme son, naît dans la glotte, c'est dans la bouche qu'elle devient voyelle, et la formation des voyelles se rattache alors à la théorie générale du timbre.

Pour faire entendre successivement les différentes voyelles, il suffit, sans modifier le son du larynx, de donner au résonnateur buccal les formes que tout le monde sait réaliser sans s'en douter et dont chacune renforce les vocables nécessaires à la production de ces voyelles.

D'après Helmholtz, les vocables caractéristiques des voyelles fondamentales seraient : fa_2 pour *OU*, $(si\flat)_3$ pour *O*, $(si\flat)_4$ pour *A*, fa_2 et $(si\flat)_5$ pour *É*, fa_2 et $ré_6$ pour *I*.— Il faut ajouter que la plupart des voyelles exigent plusieurs vocables et que celles-ci ne sont pas toutes parfaitement [redacted]

Pour prouver sa théorie, Helmholtz a eu recours au phénomène de la résonance dont il s'était déjà servi pour l'analyse des [illegible] composés.

Si l'on suppose une série de résonnateurs pouvant renforcer les vocables des différentes voyelles, chaque résonnateur entrera en vibration si la vocable qui lui correspond est présente, tandis qu'il restera silencieux, si elle est absente. Pour plus de sensibilité, on fait communiquer les résonnateurs avec des flammes de gaz : celles-ci se troublent immédiatement, si l'air des résonnateurs se met à vibrer.

Si donc on prononce *O* devant la série des résonnateurs, ces derniers restent muets, sauf celui qui renforce $(si\flat)_3$, c'est-à-dire la vocable de *O* ; si l'on prononce *A*, la flamme $(si\flat)_3$ cesse d'être troublée, et c'est $(si\flat)_4$ maintenant qui vibre.

L'expérience réussit toujours, quelle que soit la note sur laquelle on chante *O* ou *A*, et quelle que soit la personne qui prononce ces voyelles.

Supposons maintenant un diapason qui donne $(si\flat)_4$, la vocable de *A*, et, pendant qu'il vibre, plaçons-le devant la bouche. Si l'on donne à celle-ci la forme qu'elle doit avoir pour prononcer *A*, la résonance a lieu, et l'on entend *A*; dans toute autre position, la bouche reste muette.— Il en est ainsi pour les autres voyelles.

Bien plus, si l'on souffle sur le bord d'un résonnateur pouvant renforcer une voyelle donnée, on entend la voyelle correspondante.

On peut prendre aussi comme résonnateurs les cordes d'un piano. Si l'on prononce les voyelles devant la caisse ouverte de cet instrument et si l'on a le soin de soulever les étouffoirs, le piano répète les voyelles, parce que les vocables de chacune d'elles mettent en vibration les cordes qui donnent les mêmes notes.

Enfin, ce qui semble prouver cette théorie, c'est que, dans la voix *chuchotée*, c'est-à-dire lorsqu'on parle à voix basse. on peut prononcer toutes les voyelles et toutes les consonnes. Il semble donc que les voyelles se forment dans la bouche, puisque, dans le chuchotement, le larynx n'intervient pas.

Ce qui précède fait voir qu'Helmholtz, pour prouver sa théorie, a eu recours au phénomène de la résonance musicale.

Parmi les différents résonnateurs, il n'en est pas de plus curieux ni de plus sensibles que des jets de gaz enflammés. Nous en dirons ici quelques mots, parce que les résultats obtenus sont con-

formes aux idées d'Helmholtz au sujet de l'analyse des voyelles.

Supposons un jet enflammé de gaz d'éclairage, d'une vingtaine de pouces de longueur, et s'échappant d'un tube effilé de verre. Si la pression du gaz n'est pas trop forte, la flamme brûle avec tranquillité ; si l'on pousse la pression au delà de certaines limites, on constate que la flamme se raccourcit et qu'elle ronfle avec bruit : c'est qu'elle vibre alors, et ses vibrations sont dues au frottement énergique que le courant gazeux subit contre les parois de l'orifice de sortie, car le frottement est toujours rythmé.

Une masse gazeuse enflammée, sous une pression convenable, est donc un corps vibrant, pouvant, par suite, servir de résonnateur, comme tous les autres, et cette masse sera influencée par les vibrations extérieures, d'après les principes ordinaires de la résonance.

Pour mettre ce phénomène en évidence, on règle la pression du gaz de manière que la flamme soit sur le point de ronfler : c'est alors qu'elle devient, à proprement parler, une *flamme sensible*, un résonnateur extrêmement délicat. Les moin-

dres vibrations extérieures la font entrer en vibrations, ce qui se trahit par un ronflement et un raccourcissement profonds. Le plus léger bruit produit l'effet d'une augmentation de pression, et cela, à des distances assez grandes.

Tous les sons extérieurs ne sont pas également efficaces pour produire le ronflement d'une flamme sensible ; ce sont surtout les sons à harmoniques élevés qui provoquent le plus facilement les vibrations de la masse gazeuse, parce que celle-ci, étant un résonnateur, est sympathique aux vibrations de périodes analogues ou voisines de la sienne. Elle est indifférente au son d'un tuyau d'orgue ordinaire, mais se trouble immédiatement au bruit d'un trousseau de clefs que l'on agite, d'un morceau de papier que l'on déchire ou que l'on froisse, au choc de pièces de monnaie les unes sur les autres ou au bruit des pieds que l'on frotte sur le parquet, ainsi qu'au son strident d'un sifflet aigu.

Si l'on parle dans le voisinage de la flamme, celle-ci fait un choix parmi les consonnes et les voyelles que l'on prononce, même à voix basse ; elle est insensible pour quelques-unes d'elles,

tandis qu'elle salue d'un signe de tête ou d'une profonde révérence les vibrations de plusieurs autres. Les consonnes sifflantes sont particulièrement efficaces, parce que le frottement du gaz sur l'orifice du tube, étant une sorte de sifflement, produit des vibrations de périodes analogues. On met ce fait en évidence en déclamant près de la flamme le vers fameux des fureurs d'Oreste:

Pour qui sont ces serpents qui sifflent sur vos têtes !

La flamme souligne tous les " s " de ce vers par un ronflement profond.

Les flammes sensibles peuvent devenir aussi des *flammes à voyelles*, et, à ce point de vue, elles présentent un intérêt tout particulier.

Réglons la pression de la flamme de manière à lui donner le maximum de sensibilité : elle est sur le bord de l'abîme, elle s'y précipitera sous l'influence des moindres vibrations sympathiques.

Si alors on prononce, sur la même note, les principales voyelles devant la flamme, on constate des différences profondes dans les effets produits : le son de la voyelle *OU*, même très intense, ne

trouble pas la flamme, ce qui s'explique par le fait que cette voyelle, comme nous l'avons vu plus haut est un son presque simple et pratiquement sans harmoniques. Au contraire, les voyelles *O*, et surtout *A*, *É*, *I* et *U* produisent un raccourcissement et un ronflement considérables de cette même flamme, parce qu'elles contiennent des vocables aiguës particulièrement efficaces.[1]

Ces expériences semblent donc confirmer les idées d'Helmholtz, à savoir que les voyelles résultent de la combinaison d'un son fondamental avec un nombre plus ou moins grand d'harmoniques ou de vocables caractéristiques.

Que l'on me permette ici une petite digression. On entend dire souvent, d'une part, que l'italien est la langue par excellence du chant. On a dit que l'anglais se *siffle*, que l'allemand se *crache*, que l'italien se *chante* et que le français se *parle*... c'est déjà très flatteur pour le français...

L'on sait, d'autre part, que, dans la langue italienne, si l'on excepte la voyelle *I*, la voyelle *OU*

(1) La plupart des expériences décrites dans ce travail ont été exécutées par l'auteur dans une conférence donnée à l'Université Laval, le 19 avril 1917.

est celle qui se rencontre le plus fréquemment, puisque tous les *u* se prononcent *ou*.

Or, nous venons de voir, — et l'expérience des flammes sensibles le confirme, — que la voyelle *OU* est le son le plus sourd et le moins sonore que l'on connaisse, donc le moins favorable au chant, parce qu'il n'a pas d'harmoniques ni de timbre particulier.

Comment alors peut-on soutenir qu l'italien est la langue par excellence du chant ?

Si maintenant on considère que l'*U* français est plus sonore que le *OU* italien, si l'on ajoute à cela toutes les ressources que fournit l'*E* muet français dans la pratique du chant, par ces sons atténués et ces demi-teintes charmantes qu'il est impossible de produire dans les autres langues, si l'on se rappelle tout le parti que l'on tire, dans la poésie française chantée, de l'alternance des rimes masculines et des rimes féminimes, effets musicaux inimitables et exclusifs de la langue française, il est peut-être exagéré de dire que l'italien est la langue du chant, et l'on pourra modifier le dicton populaire cité plus haut de

la manière suivante : le français se parle... et se *chante* aussi !

*

* *

La théorie d'Helmholtz, que nous venons d'esquisser, a joui pendant longtemps d'une faveur illimitée. Aujourd'hui, il n'en est plus ainsi, et elle est fort discutée.

Helmholtz cherchait à découvrir les vocables qui constituent les voyelles en faisant appel à la justesse et à la finesse de son oreille. L'on voit tout de suite que l'équation personnelle, dans cette méthode auriculaire, peut jouer un grand rôle. Tout le monde n'entend pas de la même façon, et toutes les oreilles ne sont pas également sensibles. Si Helmholtz pouvait entendre, paraît-il, jusqu'au 16e harmonique donné par une corde, il faut avouer que tous les organes ne sont pas si heureusement favorisés.

Il en résulte que les différents expérimentateurs. lorsqu'ils veulent déterminer les vocables de chaque voyelle, sont loin d'être d'accord et n'entendent pas les mêmes notes.

Le Dr Marage, de Paris, a remplacé la méthode auriculaire par la méthode *graphique*, en réalisant la *photographie de la voix*.

Voici, en quelques mots, comment fonctionne l'appareil qu'il a imaginé :

On prononce les voyelles devant une membrane non tendue de caoutchouc, laquelle communique ses vibrations à un petit miroir très léger ; on dirige un rayon lumineux sur ce miroir, et le rayon réfléchi, participant à ses vibrations, tombe sur une pellicule photographique qui se déroule d'un mouvement continu, et passe immédiatement dans deux bains de développement et un bain de fixage. On obtient alors sur le papier photographique une ligne sinueuse, un *tracé graphique* spécial pour chaque voyelle et qui sert à la caractériser ainsi qu'à la reconnaître.

Le Dr Marage a constaté, par cette méthode, que la voyelle *A* est constituée par des groupes de trois vibrations séparées par un repos, *O* et *É* par des vibrations groupées par deux, *OU* et *I* par des vibrations isolées.

Si ces tracés représentent réellement les vibrations de ces voyelles, on doit pouvoir en faire la

synthèse, c'est-à-dire les reproduire artificiellement.

Le Dr Marage a réussi, au moyen d'une sirène de son invention, à produire des vibrations isolées et groupées par deux et par trois, et la sirène émettait effectivement *OU*, *O* et *A*, et cela sans résonnateur pouvant jouer le rôle de la bouche.

Quant à *É*, qui exige, comme *O*, un groupement de deux vibrations, et à *I* qui demande, comme *OU*, des vibrations isolées, il suffit, pour les reproduire, de faire varier la largeur des ouvertures de la sirène. On a reconnu, en effet, au moyen du laryngoscope, que les cordes vocales de quelqu'un qui prononce *É* sont très rapprochées et il en est de même pour *I*. En modifiant la sirène dans ce sens, on a obtenu encore les deux voyelles.

Bien plus, ces voyelles synthétiques, prononcées par la sirène, produisent les mêmes tracées graphiques que les voyelles naturelles.

Il en résulte cette conclusion étonnante : c'est que le larynx seul suffit pour émettre les voyelles ; les voyelles sont des vibrations *aéro-laryngiennes*, et le concours de la bouche, comme le croyait Helmholtz, n'est pas nécessaire.

Ce qui semble prouver cette assertion, c'est que, en se remplissant complètement la bouche avec cette substance dont se servent les dentistes pour prendre des empreintes, on peut, paraît-il, faire entendre les cinq voyelles fondamentales.

Mais alors, dira-t-on, à quoi sert la bouche ?

Toujours d'après le Dr Marage, la bouche, si elle a le volume et la forme voulus, *renforce* la voyelle laryngienne, mais la *transforme* en une autre, si ces conditions n'existent pas.

Une voyelle parfaite, bien émise, exige donc une forme, et une seule, de la cavité buccale, et il semble aussi qu'une voyelle n'est parfaite que sur *une seule note déterminée.*

Une voyelle est donc une vibration aéro-laryngienne renforcée ou transformée par la bouche.

Pour un sujet déterminé, il faut, pour chaque voyelle chantée sur une certaine note, une seule forme de la cavité buccale.

Le langage articulé, la *voix parlée,* ne se compose pas seulement de voyelles ; il faut aussi des *consonnes* sur lesquelles les voyelles s'appuient. Ici, l'action de la bouche et des résonnateurs supra-

laryngiens est prépondérante, et, sur ce point, les deux théories concordent.

On chuchote avec sa bouche, on chante avec son larynx, mais on 'rle avec la bouche et le larynx réunis.

Si l'action de la bouche est annulée, il est impossible de prononcer les consonnes, et celles-ci se forment dans les résonnateurs supra-laryngiens.

Les consonnes ne sont pas des sons musicaux proprement dits, mais ont plutôt le caractère d'un bruit qui permet de commencer ou finir d'une certaine manière les sons des voyelles.

Si, par la position du voile mobile du palais, l'air des poumons ne sort que par la bouche seule, les consonnes produites sont de trois sortes : les unes sont dites *explosives*, tels que *B* et *P*, et *D* et *T*, *G* dur et *K*. Ces consonnes ne sont pas des vibrations continues, et ne peuvent être prononcées qu'avec le secours des voyelles.

D'autres sont dites *vibrantes*, comme *R* et *L*. et d'autres, enfin, sont *continues* et peuvent se prononcer seules, soit par un frottement de l'air, comme *V* et *F*, *J* et *CH*, soit par une sorte de sifflement, comme *Z* et *S*. Il faut remarquer, de

plus, que *V* et *Z* sont accompagnés d'un murmure laryngien.

Si l'air sort par la bouche et le nez en même temps, nous aurons les consonnes *nasales* ***M***, *N* et *GN*.

Pour les quatre espèces de consonnes, les vibrations peuvent se produire soit au niveau des lèvres, soit au niveau de la langue et du palais, soit au niveau du voile du palais et de la base de la langue. Les consonnes seront alors *labiales*, *linguales* ou *gutturales*.

Ajoutons que la théorie des consonnes est loin d'être complète, et que les tracés graphiques qu'elles produisent ne sont pas aussi bien définis que ceux des voyelles.

*

* *

Telle est la théorie, très résumée, du Dr Marage sur l'origine de la voix humaine et du langage articulé. Doit-on la préférer à celle d'Helmholtz ?

Il faut reconnaître que la méthode graphique employée par Marage est plus scientifique, plus précise et moins sujette aux illusions que la mé-

thode auriculaire d'Helmholtz. Un tracé graphique bien défini est un document devant lequel il faut s'incliner, et c'est par ce moyen que Marage a déterminé le mode vibratoire des cordes vocales dans l'émission des voyelles.

Toutefois, il y a lieu de s'étonner de certaines conclusions du Dr Marage, en particulier que le larynx seul suffit pour prononcer les voyelles, et, de plus, qu'une voyelle n'est parfaite que si elle correspond à une forme spéciale de la bouche pour chaque note musicale. L'expérience quotidienne semble montrer, en effet, que, pour chanter une gamme avec la même voyelle, il n'est pas nécessaire de modifier la forme de la bouche.

De plus, peut-on comprendre que la bouche n'intervient pas dans la *formation* des voyelles, quand on affirme qu'elle est nécessaire pour leur *transformation* les unes dans les autres, et quand on sait qu'elle peut toutes les prononcer dans la voix *chuchotée* ?

Remarquons, en outre, que le Dr Marage a bien déterminé, pour l'émission des voyelles, les *conditions* vibratoires des cordes vocales, mais qu'il n'en a pas indiqué les *causes*.

Comment admettre que le même courant d'air des poumons, sous le seul commandement de la volonté, fera produire aux cordes vocales des vibrations par groupes différents et bien définis, d'où résultent les sons qu'on appelle les voyelles ? Pour expliquer un tel mode vibratoire, il faut une raison que le Dr Marage ne donne pas.

S'il m'est permis d'exprimer ici une opinion personnelle, on pourrait peut-être trouver la cause cherchée dans un fait sur lequel j'ai attiré plus haut l'attention du lecteur.

On se rappelle que, dans un tuyau à anche flexible, c'est la colonne d'air du tuyau qui commande les vibrations de l'anche. C'est ce qui explique pourquoi un tuyau de ce genre peut émettre un grand nombre de sons différents avec une même anche. Si l'on modifie, en effet, par la position des doigts et avec le secours des clefs, le mode de division de la colonne d'air d'une clarinette, les vibrations de ces masses d'air *réagissent* sur l'anche et la forcent en quelque sorte de vibrer avec des vitesses très variables suivant les cas.

Ne pourrait-on pas appliquer ce phénomène à l'organe de la voix ? Celui-ci, en effet, est un tuyau

à anches très flexibles, associé aux résonnateurs supra-laryngiens. La masse d'air de ces résonnateurs doit donc *réagir* sur les cordes vocales, elle doit *commander* les vibrations aéro-laryngiennes ; si, par exemple, la bouche prend la position nécessaire à l'émission de la voyelle *A*, le volume d'air qui en résulte forcera les cordes vocales de produire des vibrations par groupes de trois, comme le veut Marage, en même temps qu'il les renforcera ; en changeant la forme de la bouche, le nouveau volume de la masse d'air pourra provoquer des vibrations à deux périodes ou des vibrations isolées, et l'on aura ainsi les différentes voyelles.

On s'explique alors pourquoi la bouche, lorsqu'elle n'a pas la position voulue, peut transformer une voyelle en une autre et donner toutes les nuances de sons que l'on constate dans les différentes langues.

Et cela semble vrai, même si le résonnateur buccal est annulé ; il reste, en effet, les cavités du pharynx, des fosses nasales et les ventricules de Morgagni. Dans l'effort sans doute considérable que l'on doit faire, dans ces conditions, pour

prononcer les voyelles, ces résonnateurs, à parois très flexibles et à volumes très variables, peuvent fort bien, en quelque sorte, suppléer la bouche et permettre l'émission plus ou moins parfaite des voyelles.

Dès lors, les vibrations compliquées des cordes vocales trouveraient une cause qui se rattache à la théorie ordinaire des tuyaux à anche.

Si l'on adopte cette manière de voir, que je soumets bien humblement, l'on constate que le rôle de la bouche est peut-être plus essentiel que ne le suppose Marage, et que les deux théories ne sont pas aussi éloignées l'une de l'autre qu'elles en ont l'air.

Mais il est un point sur lequel tout le monde est d'accord : c'est que le problème de la voix humaine est d'une complexité telle que sa solution complète est impossible.

Et pourtant,combien il est facile de chanter et de parler ! N'est-il pas étonnant que l'on puisse, sans le moindre effort et sans y penser, lorsqu'on chante une mélodie, donner aux cordes vocales le nombre exact de vibrations qu'il faut, n'est-il pas incompréhensible que la bouche puisse prendre

si facilement et si rapidement la forme et le volume requis pour prononcer les voyelles et les consonnes! Il se produit, dans le larynx et dans la bouche, des merveilles d'acoustique, pour chaque note chantée, pour chaque parole articulée, pour chaque voyelle émise !

Mais, dirons-nous, doit-on en être surpris? L'organe de la voix ne peut se comparer que de loin avec les autres instruments de musique ; ce n'est pas un mécanisme que tout ingénieur peut construire et dont les rouages, quelque conpliqués qu'ils soient, ont des fonctions bien connues, obéissant aux lois de la physique et de la mécanique.

L'organe de la voix est avant tout un organe vivant, dont le fonctionnement s'opère sous l'influence de cette force mystérieuse qu'on appelle la vie. C'est pour cela, — et l'on peut dire la même chose des autres fonctions physiologiques, telles que la digestion, l'absorption, l'assimilation, la respiration, l'audition, — qu'il ne nous sera jamais donné d'en pénétrer tous les secrets.

Pour imaginer et réaliser la construction d'une machine quelconque aussi complexe que l'on voudra, il suffit du génie de l'homme ; pour concevoir

et mettre en opération un organe vivant comme celui de la voix humaine, il faut plus que le génie de l'homme, il faut la toute-puissance d'un Dieu créateur !

LES CONQUÊTES DU SPECTROSCOPE

LES CONQUÊTES DU SPECTROSCOPE (1)

Le siècle dernier, si fécond en découvertes de tout genre, n'en a peut-être pas produit de plus importantes ni de plus merveilleuses que celle de l'analyse spectrale. C'est par l'application rationnelle de cette nouvelle méthode d'analyse, à la fois très simple et extrêmement sensible, que l'on a découvert des substances chimiques, des éléments terrestres jusqu'alors inconnus et insoupçonnés. Bien plus, le spectroscope, malgré les énormes distances astronomiques, a permis aux physiciens et aux astronomes de scruter les profondeurs du ciel, d'arracher au Soleil, aux étoiles, aux nébuleuses, le secret de leur constitution physique et chimique, et même de constater et de mesurer, pour certaines étoiles, des mouvements de rapprochement et d'éloignement tout à fait insensibles aux lunettes les plus puissantes.

(1) *La Nouvelle-France*, juillet 1913 et mai 1914.

La lumière ne nous fait pas seulement connaître l'existence des corps incandescents ; ceux-ci cèdent, pour ainsi dire, quelque chose de leur substance aux vibrations lumineuses qu'ils rayonnent dans toutes les directions, et ces radiations complexes, après avoir franchi avec une extrême rapidité les distances interstellaires et interplanétaires, et après qu'elles ont été décomposées et séparées en leurs élements par le spectroscope, nous fournissent de précieuses indications et des données précises qui nous font connaître l'état physique et chimique des corps qui les ont émises.

L'analyse spectrale a fait faire à l'astronomie physique des progrès merveilleux en suppléant à l'insuffisance des lunettes et en ouvrant aux chercheurs des horizons en quelque sorte illimités.

Rappelons brièvement les premiers principes de la spectroscopie.

Un rayon de lumière blanche, en traversant un prisme, ne subit pas seulement la réfraction, mais aussi la *dispersion* : il se décompose en ses radiations élémentaires diversement colorées et produit sur un écran une image allongée que l'on a appelée un *spectre*. Les principales couleurs du spectre

sont au nombre de sept, savoir : *violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.* Cette classification des couleurs du spectre est fort arbitraire ; en réalité, il y a un très grand nombre de teintes qui passent les unes aux autres par des gradations insensibles.

Les rayons colorés, d'après Newton, sont simples et n'ont pas la même réfrangibilité ; le prisme les dévie inégalement, et c'est ce qui fait qu'ils se séparent ; mélangés ensemble par un procédé quelconque, ils reconstituent la lumière blanche par leur superposition.

La lumière qui nous vient du Soleil, en outre des rayons colorés qui impressionnent l'œil, contient aussi des rayons calorifiques dont l'intensité, dans le spectre qu'elle produit, augmente du violet vers le rouge et même atteint son maximum au delà de la partie visible ; ces rayons de chaleur, que l'œil ne peut voir et qu'on appelle rayons *infra-rouges*, constituent une proportion importante de la radiation solaire.

Les rayons violets, qui ne contiennent pas de chaleur, sont doués, par contre, d'une activité chimique remarquable ; ils impressionnent les

plaques photographiques et leur action se prolonge au delà du spectre visible où ils prennent le nom de rayons *ultra-violets*.

Une grande partie de la radiation solaire est donc invisible à l'œil ; le développement et l'intensité du spectre calorifique sont étudiés au moyen de la pile thermo-électrique ou du bolomètre, tandis qu'on explore la région ultra-violette avec le papier sensible.

On appelle *spectroscope* l'appareil qui permet d'analyser les lumières émises par les corps incandescents. Il comprend, comme organe essentiel, un prisme de verre (ou un réseau) sur lequel on projette la lumière à analyser ; celle-ci se décompose en ses radiations élémentaires, et une lentille donne une image agrandie du spectre qu'elles produisent.

Kirchhoff et Bunsen, après avoir analysé au spectroscope les différentes lumières émises par les corps incandescents de toutes sortes, énoncèrent, en 1859, les résultats suivants :

Les *solides* et les *liquides* incandescents donnent un *spectre continu*, c'est-à-dire qui comprend toutes les radiations lumineuses sans aucune interruption ;

Les *vapeurs* et les *gaz*, au contraire, produisent des *lignes* ou *raies* brillantes, relativement peu nombreuses, caractéristiques pour chaque substance, et occupant des positions déterminées dans le spectre ; celui-ci reste obscur partout ailleurs, et les lignes brillantes, que l'on peut localiser et qui changent d'un corps simple à l'autre, permettront de reconnaître infailliblement chacun d'eux, parmi toutes les autres substances.

Cette propriété inattendue des vapeurs métalliques et des gaz incandescents constitue une méthode d'analyse chimique imaginée par Kirchhoff et Bunsen et qu'on a appelée l'*analyse spectrale.*

L'importance de cette découverte n'échappe à personne ; la nouvelle méthode d'analyse se recommande, en effet, par sa grande simplicité et son extrême sensibilité.

Si l'on place, devant le spectroscope, un fil de platine humecté d'une solution saline et plongé dans la flamme non éclairante d'un bec Bunsen, on voit immédiatement apparaître les raies colorées caractéristiques du métal contenu dans la solution ; un trois-milliardième de gramme d'un sel de soude suffit pour produire la double ligne jaune du sodium.

Il était à prévoir que l'analyse spectrale devait conduire logiquement à la découverte de nouveaux corps simples. C'est ainsi que Kirchhoff et Bunsen et plusieurs autres savants, par l'étude de nouvelles raies ne correspondant à aucun métal connu, découvrirent successivement le rubidium, le cæsium, le thallium, le gallium, l'indium, et, en particulier, l'hélium, dont la présence a été constatée dans le Soleil avant qu'on l'ait rencontré parmi les substances terrestres.

L'analyse spectrale était fondée et la découverte de nouveaux métaux avait démontré dès le début toute son efficacité et toute sa puissance. Mais le spectre particulier de la lumière solaire constituait depuis longtemps une énigme indéchiffrable. Ce spectre, en effet, contient toutes les radiations colorées, comme celui des solides en ignition, mais de plus, ainsi que l'ont reconnu Wollaston, en 1802, et surtout Fraünhofer en 1814, il est sillonné de raies noires dont l'origine semblait inexplicable. Fraünhofer en a compté et localisé plus de six cents, et Rowland, qui nous a laissé les plus beaux travaux sur la question, en a reconnu plus de vingt mille.

Il était réservé à Kirchhoff de compléter sa belle découverte de l'analyse spectrale en pénétrant le secret des raies sombres du spectre solaire, et en ouvrant de la sorte les plus larges horizons à l'étude de la composition physique du Soleil et des astres.

L'explication des raies sombres du spectre solaire est contenue dans cette simple expérience de laboratoire, dite du *renversement des raies.*

Si une lumière intense à spectre continu, comme celle de l'arc électrique, traverse une flamme qui contient de la vapeur incandescente de sodium, avant d'être décomposée par un spectroscope, la ligne jaune de ce dernier métal apparaît en noir dans le spectre continu, à l'endroit précis où elle serait placée si le sodium eût été seul. En généralisant cette expérience, on peut énoncer le principe suivant :

" Toute vapeur incandescente absorde les radiations qu'elle émet elle-même."

La vapeur de sodium éteint donc les rayons jaunes contenus dans la lumière blanche de l'arc électrique ; la place correspondante au spectre n'est plus éclairée que par la lumière pâle du métal vaporisé, et c'est pour cette raison qu'elle paraît

sombre, par effet de contraste avec les autres couleurs brillantes du spectre continu.

Il n'est pas difficile maintenant d'expliquer l'origine des raies noires du spectre solaire : c'est que la lumière de la surface brillante traverse une atmosphère de gaz en ignition avant de franchir les espaces. Comme on a démontré la coïncidence remarquable d'un grand nombre de ces raies avec les raies brillantes fournies par les métaux terrestres, on peut admettre que la surface externe de la masse solaire, appelée *photosphère*, est un océan de nuages formés de particules incandescentes, liquides et solides, en suspension dans un mélange de vapeurs et de gaz : voilà pourquoi le fond continu du spectre solaire est formé de toutes les radiations colorées.

Au dessus de ces nuages brûlants, se trouve une atmosphère incandescente, appelée *chromosphère*, dont les vapeurs en ignition, à travers lesquelles la lumière de la photosphère doit passer, produisent les raies noires du spectre et donnent, de la sorte, une preuve certaine de leur présence.

Cette explication simple et si féconde en résultats de la plus haute importance a été confirmée

par les observations faites pendant l'éclipse totale de Soleil en 1870. Lorsque la Lune intercepte la lumière de la photosphère, celle de la chromosphère seule produit des spectres de raies brillantes occupant exactement les endroits des lignes noires du spectre ordinaire.

Un grand nombre de physiciens, entre autres Angström, Cornu, Abney et Rowland, ont continué et complété les travaux de Kirchhoff. De nombreux examens spectroscopiques nous permettent d'affirmer la présence, dans l'atmosphère solaire, de corps terrestres de poids atomique léger, de métaux surtout, avec quelques métalloïdes comme l'hydrogène, le silicium et le carbone. Parmi les métaux, notons le sodium, le cuivre, le baryum, le calcium, le magnésium, le nickel et le fer, dont plus de deux mille lignes brillantes correspondent à un nombre égal de raies sombres du spectre solaire.

Ces éléments métalliques légers constituent l'écorce de la Terre ; on peut donc dire, avec Rowland, que notre planète, portée à la même température que le Soleil, donnerait le même spectre que l'astre radieux.

Les vapeurs métalliques les plus lourdes occupent la partie de la chromosphère la plus voisine de la surface du Soleil, et forment une couche très mince où se produit le *renversement des raies* et qu'on a appelée, pour cette raison, la *couche renversante.* Le spectre de cette couche n'est visible, lors des éclipses totales, que pendant une ou deux secondes : c'est le *spectre-éclair* de Young. D'après plusieurs photographies de ce spectre, les idées de Kirchhoff ont été confirmées par les coïncidences que l'on a constatées entre les raies brillantes et les raies noires du spectre solaire.

La chromosphère et la couche renversante peuvent être comparées, en quelque sorte, à l'atmosphère terrestre. De cette enveloppe brillante se détachent, comme on le voit pendant les éclipses, des jets roses, semblables à des éruptions volcaniques, que l'on a appelés *protubérances.* Elles s'élèvent parfois à des hauteurs égales à un rayon du Soleil, et elles prennent les formes les plus variées et les plus fantastiques.

On a reconnu, par l'examen spectroscopique, que les protubérances solaires contiennent en grande partie de l'hydrogène et de l'hélium.

Un des grands attraits des éclipses totales est l'apparition de la *couronne*, auréole lumineuse, magnifique gloire comme celles dont les artistes nimbent la tête des saints, et qui entoure le disque obscure de la Lune. Ses formes rayonnantes ont une relation remarquable avec les époques des maxima et des minima des taches solaires.

Le spectre de la couronne nous permet d'admettre qu'elle est une dépendance du Soleil ; ce spectre contient quelques lignes faibles d'origine inconnue, mais, parce qu'il est continu, il nous montre que la couronne est formée principalement par des particules lumineuses, tandis que les gaz dominent dans la chromosphère.

* * *

Les résultats que nous venons d'esquisser sont vraiment surprenants. La constitution physique et chimique du Soleil, du moins de son atmosphère, nous est révélée avec autant de facilité, pour ainsi dire, que s'il s'agissait d'analyser une substance quelconque dans un laboratoire.

Mais il y a plus. L'analyse de la lumière qui vient des étoiles permet de constater les mouve-

ments radiaux, c'est-à-dire les déplacements de ces corps célestes par rapport à la Terre.

C'est l'application du principe Doppler-Fizeau, conséquence naturelle de tout mouvement ondulatoire.

L'on sait que le ton d'un corps sonore en mouvement, comme la cloche d'une locomotive, paraît monter ou baisser suivant que le corps se rapproche ou s'éloigne rapidement de l'observateur. Dans le premier cas, l'oreille reçoit dans le même temps un nombre plus considérable de vibrations, tandis que ces dernières sont moins nombreuses, lorsque le corps s'éloigne.

Un phénomène analogue se passe pour la lumière. Lorsqu'on gaz incandescent se rapproche avec une grande rapidité, les lignes brillantes qui le caractérisent se déplacent vers le violet ; s'il s'agit d'une vitesse d'éloignement, le déplacement des lignes a lieu vers le rouge.

On voit tout de suite les applications importantes de ce principe au mouvement radial des étoiles. Le mouvement de rotation du Soleil a permis d'en constater l'exactitude et d'établir une

base de calcul pour la mesure des vitesses relatives par le déplacement des lignes.

En effet, pendant toute la durée de sa rotation, le bord équatorial est se rapproche de nous avec une vitesse de deux kilomètres par seconde, et le nord-ouest s'éloigne avec la même vitesse.

Thollond, en examinant le spectre des deux extrémités équatoriales, a constaté, pour celle qui se rapproche, un déplacement des lignes vers le violet, et, pour l'autre, un déplacement vers le rouge. C'est une vérification éclatante du principe Doppler-Fizeau ; en même temps, la mesure du déplacement des raies, la vitesse du corps brillant qui le produit étant connue, fournit le moyen de déterminer les vitesses de tous les corps lumineux.

*
* *

Nous n'avons exposé ici que les applications de l'analyse spectrale à la physique solaire.

La même méthode, également efficace, également féconde, s'applique aussi à l'observation des autres astres qui constituent l'Univers, et il nous reste maintenant à passer en revue, en matière

d'astro-physique, les résultats très importants qu'elle a permis de mettre en lumière.

En premier lieu, signalons le fait que la Lune et les planètes donnent le même spectre que celui du Soleil : il faut en conclure que ces corps célestes ne sont pas lumineux par eux-mêmes, mais ne font que réfléchir la lumière de l'astre radieux.

Il n'en est pas de même des étoiles.

Les études spectroscopiques ont fait voir que les étoiles brillent d'une lumière propre, qu'elles sont, par la quasi-similitude des spectres, des soleils analogues au nôtre, ou, si l'on aime mieux, que le Soleil n'est qu'une étoile, au même titre que celles qui parsèment le firmament.

Un grand nombre de physiciens et d'astronomes se sont préoccupés de classifier les corps célestes par l'analyse de leurs spectres, et, dès 1867, le P. Secchi a dressé un tableau comprenant quatre types principaux d'étoiles qui servent encore de base aux classifications plus récentes.

Les étoiles de la *première classe* de Secchi, *blanches* ou *bleues*, parmi lesquelles on remarque Véga, Sirius, Altaïr et Procyon, sont caractérisées par

des spectres où domine l'absorption des raies de l'hydrogène. C'est la classe la plus nombreuse.

Les spectres des étoiles de la *deuxième classe*, presqu'aussi nombreuses que les précédentes, sont semblables à celui du Soleil : ce sont les étoiles *jaunes*. Les principales unités de cette classe sont : le Soleil, Arcturus, Aldébaran, Capella et la Polaire.

Les étoiles *rouges* ou *orangées* forment la *troisième classe* : spectres à raies métalliques et à bandes obscures attribuées aux oxydes de manganèse et de titane. Principaux types : Antarès et Bételgeuse.

Une *quatrième* et dernière *classe*, enfin, est constituée par des étoiles de faible éclat *rouge rubis* ; leurs spectres contiennent des bandes que l'on attribue au carbone.

Depuis les travaux du P. Secchi, les observations et les découvertes se sont multipliées. C'est ainsi que l'on a constaté, dans les étoiles de la constellation d'Orion, des spectres à lignes nouvelles ne correspondant à aucun élément terrestre. Ces lignes, comme l'a montré Vogel, étaient dues à l'hélium, gaz qui fut découvert dans le

Soleil, au moyen du spectroscope, avant que l'on eût constaté sa présence sur la Terre.

Des classifications plus complètes étaient devenues nécessaires à la suite des travaux accomplis un peu partout dans les différents observatoires astro-photographiques. Celui de *Harvard College* (Cambridge, États-Unis), sous la direction de C. Pickering, s'est particulièrement distingué dans ce genre de recherches. Grâce à un observatoire auxiliaire installé au Pérou, pour l'étude des étoiles de l'hémisphère austral, il a publié quatre catalogues de spectres d'étoiles, savoir : le *Draper Catalogue*, en 1890, le *Spectra of Bright Stars*, par Miss Maury, en 1897, le *Spectra of Bright Southern Stars*, par Miss Cannon, en 1901, et le *Revised Harvard Photometry*, en 1908.

Ces tableaux d'étoiles sont trop compliqués et trop étendus pour que nous songions à les analyser en détail.

On peut les résumer de la manière suivante, en distribuant les principales étoiles dans l'ordre des températures décroissantes, et en indiquant les correspondances avec l'ancienne classification de Secchi :

On range dans une *première classe* les étoiles les plus chaudes, contenant des radiations bleues et jaunes d'origine inconnue ; par contre, ces étoiles, toutes situées dans la Voie Lactée ou dans les Nuées de Magellan, sont riches en hydrogène et en hélium, mais ne présentent aucune raie des métaux.

Une *deuxième classe*, dont les principaux types sont Régulus, Rigel et la plupart des autres étoiles d'Orion, la plupart des Pléiades, est constituée par les étoiles *blanches à hélium* ; ce dernier gaz manifeste sa présence prédominante par trente-six de ses plus fortes raies.

La *troisième classe* (correspondant à la classe I de Secchi) est celle des *étoiles blanches à hydrogène*, sans hélium ou à hélium à peine sensible. Principales étoiles de ce groupe : Fomalhaut, Sirius, Véga.

Puis vient la classe intéressante des *étoiles solaires* (classe II de Secchi), ainsi appelées parce qu'elles présentent les mêmes raies de Fraünhofer, les mêmes raies métalliques que celles que l'on voit dans le spectre solaire. Le Soleil n'est donc, avec les autres principaux types, Arcturus, Ca-

pella et la Polaire, qu'une unité de ce groupe d'étoiles *jaunes*.

Ajoutons, pour terminer cette nomenclature, la classe des étoiles à *spectres cannelés* (classe III de Secchi), dont la température est notablement inférieure à celle des étoiles précédentes, et dont les bandes cannelées correspondent aux lignes du manganèse et du titane ou de leurs oxydes (principaux types : Antarès, Bételgeuse), et, enfin, le groupe des *étoiles carbonées* (classe IV de Secchi), dont les bandes spectrales proviennent probablement du carbone ou des hydrocarbures.

Comme on le voit, les résultats obtenus sont étonnants. Si l'on songe que les étoiles, perdues pour ainsi dire dans les profondeurs de l'espace, sont à des distances de la Terre qui se calculent par trillions de lieues et ne subissent aucun grossissement dans les meilleurs télescopes, on ne peut trop admirer la puissance et, en même temps, la merveilleuse simplicité de la méthode spectroscopique.

Il est vrai qu'il reste encore beaucoup à faire dans cette voie ; mais l'habilité des observateurs qui se consacrent à cette œuvre de la physique

stellaire, et l'outillage perfectionné des principaux observatoires nous font espérer que les découvertes se multiplieront et que la science du monde des étoiles ne fera que s'enrichir de plus en plus.

*
* *

Lorsqu'on examine un certain nombre d'étoiles à l'aide de puissantes lunettes, on constate qu'elles sont composées de deux ou de plusieurs astres, bien qu'elles nous apparaissent à l'œil nu comme des points uniques. On les appelle des étoiles *doubles* ou *multiples*.

Souvent le rapprochement de deux étoiles n'est qu'apparent, et elles sont à de grandes distances et complètement indépendantes les unes des autres, tout en paraissant se projeter dans des régions très voisines du ciel : ce sont les *groupes optiques*.

Pour d'autres groupes, appelés *groupes physiques*, les étoiles constituantes forment des systèmes analogues au système solaire et, d'après les principes de l'attraction newtonienne, tournent autour de leur centre commun de gravité.

Le nombre des étoiles doubles, déjà considérable, s'est accru par la découverte des étoiles dou-

bles dites *spectroscopiques*, ainsi appelées parce qu'on les a dédoublées, non pas au moyen des lunettes, même les plus puissantes, mais par l'étude des photographies de leurs spectres. Grâce à l'application du principe Doppler-Fizeau, on a pu constater que la vitesse radiale de ces étoiles, c'est-à-dire dans la direction du rayon visuel, est variable, ce qui se trahit par un dédoublement des lignes spectrales et indique un mouvement d'éloignement et de rapprochement des composantes par rapport à la Terre. L'on est donc en présence d'un mouvement de gravitation, et, pour la première étoile double de cette classe découverte en 1889 par Pickering, les deux astres qui la composent tournent rapidement autour de leur centre commun de gravité.

Vogel a démontré, en outre, qu'Algol de Persée, la deuxième étoile double spectroscopique dans l'ordre des découvertes, possède un *compagnon* obscur qui l'occulte partiellement pendant sa révolution.

On connaît actuellement plus de 140 étoiles doubles spectroscopiques, parmi lesquelles on remarque principalement la Chèvre et l'Épi de la Vierge.

*
* *

Une classe intéressante d'étoiles est celle des *étoiles variables.* On appelle ainsi des étoiles qui subissent des variations d'éclat et qui ne sont pas toujours de la même grandeur. Comme les changements d'éclat présentent des caractères fort différents, il a fallu adopter une classification. Celle que nous décrirons ici très rapidement a été proposée par Pickering, en 1881.

Classe I.— Étoiles temporaires, appelées encore *Novæ* ou *Nouvelles.*

Ce sont des étoiles qui apparaissent subitement dans le ciel, puis s'affaiblissent peu à peu et finissent par disparaître. Une des plus remarquables, désignée sous le nom de *Pélerine*, a été observée, en 1572, par Tycho-Brahé. Son éclat, pendant l'espace d'un mois, était comparable à celui de la planète Vénus, et elle disparut totalement au bout de 17 mois.

Souvent ces étoiles ne s'éteignent pas complètement, mais se fixent définitivement à une grandeur inférieure. Telle fut celle qui apparut dans la Couronne, en 1866 ; d'abord de 2e grandeur,

elle s'obscurcit graduellement pour s'arrêter à la 11e grandeur.

Le 22 février 1901, une étoile nouvelle apparut soudain dans la constellation de Persée ; elle était aussi brillante que Capelle, et il appert, par certains clichés photographiques pris antérieurement, qu'elle a passé en 4 jours de la 11e à la 2e grandeur, ce qui correspond à une lumière 25,000 fois plus intense.

L'étude spectroscopique des *Novæ*, en particulier de celle de la Couronne 1866, par la présence de raies brillantes toutes spéciales, laisse croire que l'éclat subit dont elles brillent à l'époque de leur maximum serait le résultat d'une explosion, d'un cataclysme formidable qui aurait entouré l'astre d'une couche d'hydrogène incandescent.

Classe II.— Étoiles à longues périodes.

Ces étoiles, dont l'éclat varie périodiquement, sont au nombre de 458, et leur période moyenne varie entre 300 et 400 jours. On n'y remarque aucune régularité ni dans la couleur, ni dans les éclats extrêmes, ni dans la durée de la période elle-même.

La variable de cette classe qui a excité le plus de curiosité chez les astronomes a été appelée *Mira Ceti*, la *Merveilleuse de la Baleine*. Son spectre, comme ceux, du reste, des autres variables à longue période, est du type III de Secchi. On y remarque deux systèmes de raies, noires et brillantes, qui permettent de constater la présence de l'hydrogène et du titane, et des bandes obscures d'origine inconnue. Ce spectre, au sujet duquel il reste encore bien des doutes, présente ce fait remarquable que le déplacement des lignes, tant brillantes que noires, prouve le mouvement radial de l'astre par rapport à la Terre.

De plus, on conclut de l'étude spectrale de Mira Ceti que les changements d'éclat s'expliquent par des taches analogues aux taches solaires ; il en est probablement ainsi des autres variables de cette classe.

Classe III.— Étoiles à fluctuations.

Les 120 étoiles de ce groupe sont caractérisées par l'absence de période déterminée, et les changements d'éclat, faibles d'ailleurs, ne présentent aucune régularité.

Classe IV.— Étoiles à courtes périodes, ou à variation lumineuse continue.

Les étoiles de cette classe ont beaucoup d'analogie avec celles de la classe suivante ; elles s'en distinguent, comme l'indique leur nom, par la variation continue de la lumière. La période est de quelques jours seulement, avec un ou deux maxima et minima par période.

D'après certains astronomes, les études spectroscopiques, jointes aux observations directes, feraient voir que ces étoiles constituent un système de deux étoiles légèrement aplaties, dont l'une, le *compagnon*, un peu plus petit et relativement brillant, tournerait autour de l'astre principal plus grand et obscur. Les deux étoiles seraient très rapprochées l'une de l'autre, et les changements périodiques d'éclat ne seraient que des éclipses causées par la révolution du compagnon.

La densité de la 2e de la Lyre, le type des étoiles de cette classe, n'est que les six-centièmes de celle de l'air, et sa masse est évaluée à 30 fois celle du Soleil.

Pour d'autres étoiles de ce groupe, comme la 3e de Céphée et la 2e de l'Aigle, les densités seraient

du même ordre de raréfaction que celle de la précédente, mais les constituantes seraient beaucoup plus rapprochées.

Classe V.— Étoiles à éclipses passagères ou du type d'Algol.

La plupart des étoiles de cette classe sont blanchâtres ou blanches ; elles subissent des extinctions plus ou moins complètes pendant un certain temps, mais conservent leur éclat entre deux extinctions très régulières. Leurs périodes varient de 3 heures à 32 jours.

La principale étoile de ce groupe est *Algol* de *Persée*. Pendant la durée de sa période, qui est de 2 j. 20 h. 49 m., l'astre reste de 2e grandeur durant 2 j. 12 h.; l'éclat diminue ensuite pendant 4 h. 30 m.; l'étoile passe à la grandeur 3.5, puis l'éclat s'accroît et reprend sa valeur initiale.

Les changements périodiques d'éclat, pour la plupart, sinon pour toutes les étoiles du type d'Algol, sont dus, comme Vogel l'a prouvé en 1889, à un *compagnon obscur* qui occulte l'étoile principale pendant sa révolution.

Pour Algol, en particulier, on croit que les composantes sont deux astres sphériques aussi volu-

mineux que le Soleil, et qui tournent autour de leur centre commun de gravité situé à l'intérieur de l'astre principal, et dans des orbites dix fois plus serrées que celle de Mercure par rapport au Soleil.

*

* *

Les notions très incomplètes que nous venons de donner font comprendre toute l'importance des études spectroscopiques. Les faits nouveaux qu'elles ont mis en lumière ont forcé les astronomes de modifier sur bien des points les vues couramment admises au sujet de la constitution des étoiles ; il a fallu reconnaître, en particulier, les différences profondes qu'il y a entre certaines étoiles et notre Soleil : différence de densité, puisqu'il se rencontre des astres plus légers que l'atmosphère terrestre, différence aussi dans l'éclat et dans l'amplitude relative des orbites, puisqu'au lieu d'un astre à éclat constant et relativement très éloigné des planètes qui gravitent autour de lui, nous sommes en présence, pour les étoiles à courte période, de soleils assez rapprochés pour se pénétrer mutuellement.

L'astronomie stellaire est une science nouvelle et déjà très vaste ; elle se développera sans doute avec rapidité et ses conquêtes feront éclater encore une fois de plus la merveilleuse ordonnance de la Création et l'infinie grandeur du Dieu qui en est l'auteur.

———

LES TROMBES

LES TROMBES [1]

Le 28 août dernier, un journal de Québec racontait l'émouvante aventure de trois excursionnistes, surpris, le 23 du même mois, sur les bords du lac Roberge, dans les Laurentides, par un phénomène météorologique à la fois grandiose et terrifiant. Il s'agissait d'une *trombe* gigantesque dont les ravages se sont fait sentir sur une longueur de cinq à six milles, au point d'obstruer complètement, par l'accumulation de débris d'arbres brisés ou arrachés, le sentier qui conduit du lac Roberge aux lacs du club Marmier, où se rendaient les témoins de l'aventure.

Nous avons des raisons toutes particulières de présenter aujourd'hui aux lecteurs du *Canada français*, comme sujet de notre première causerie scientifique, une étude sur les trombes tant maritimes que terrestres ; outre l'actualité et l'intérêt de cette question de météorologie canadienne,

---

(1) *Le Canada français*, novembre 1918.

nous avons la bonne fortune d'être l'heureux possesseur d'un récit authentique et d'une observation extrêmement précise de la trombe du 23 août, que l'un des témoins oculaires du météore a eu l'amabilité de nous transmettre. (1)

Le lecteur reconnaîtra facilement, par les extraits cités plus loin, que la frayeur bien légitime, dans la situation critique où lui et ses compagnons se trouvaient, n'a fait perdre au distingué narrateur aucune de ses excellentes qualités d'observateur, et que sa remarquable description du phénomène si rare des trombes constitue, pour la science canadienne, une contribution dont personne ne contestera la valeur.

Le lac Roberge, où la trombe du 23 août dernier s'est produite, est situé à 16 arpents à l'est de la gare *Gouin*, sur le Transcontinental, à 90 milles de Québec. Il a quatre milles de longueur sur un mille et demi de largeur ; il occupe une position nord-sud et se décharge à l'ouest en formant la rivière Tawachiche qui se jette dans la rivière Batiscan, à Saint-Adelphe, comté de Champlain,

(1) Monsieur l'abbé L.-A. Rousseau, aumônier de l'Hôpital Saint-Michel-Archange (près Québec).

après une course de vingt milles. Plus exactement, il est localisé, par sa partie nord, dans le canton Hackett (Champlain), et, par sa partie sud, dans le canton Marmier (Portneuf).

Après ces précisions géographiques que nous devons à notre correspondant, voici la relation détaillée qu'il a bien voulu nous communiquer :

" Nous venions d'atterrir à l'est après la traversée du lac Roberge. Il est 5 h. 15 m. Quelques minutes plus tard, passe sur nous un orage électrique ; il y eut fracas de tonnerre et plusieurs chutes de la foudre, très peu de vent venant du sud, et une pluie modérée qui dura une dizaine de minutes. La pluie cesse alors et un fort vent du sud s'élève dans les hauteurs du ciel, apportant d'épais nuages noirs ; nous apercevons tout bas, à l'horizon vers l'ouest, par une échancrure de la montagne, un long nuage jaune, prélude ordinaire d'un grand vent. Quelques instants plus tard, d'épais nuages noirs, sortent cette fois du nord avec une rapidité étonnante, viennent en contact avec ceux du sud.

" Nous avions hâte de voir le résultat de la rencontre de ces nuages poussés violemment par

des forces contraires. En quelques instants, il se produit silencieusement une accumulation de nuages tournant ensemble, et qui s'abaissent peu à peu vers la surface de l'eau, près de la décharge du lac. Presque en même temps, nous voyons sur l'eau se former de gros bouillons ; et bientôt s'élève une colonne unissant aux nuages disposés en forme de cône renversé, les eaux du lac dont les bouillons forment en même temps un cône de plusieurs pieds de diamètre à la base. Par comparaison avec l'élévation de la montagne située en arrière, nous avons cru constater que la longueur de la colonne de la trombe pouvait être d'au delà 100 pieds.

" Et c'est alors que, de cet engin tournoyant sur lui-même avec une vitesse considérable, nous entendîmes comme sortir un bruit énorme assez semblable à celui que produit une machine à broyer la pierre.

— " Regardez donc la trombe ! nous disions-nous les uns aux autres.

"Il ne nous restait plus qu'à surveiller la direction qu'allait prendre le météore. Evidemment, nous eûmes souleur quand nous vîmes la trombe se

diriger vers l'est, vers notre abri, et donc sur nous !... Quel moment !... Nous sommes perdus !... Et nous recommandons notre âme à Dieu et à sa sainte Mère.... En une minute ou deux, il se fit un fracas horrible ; la grêle tombait abondamment en même temps que la pluie ; et sous l'effort d'un vent irrésistible, la forêt fut prise d'un craquement épouvantable qui ne saurait se décrire... Le temps d'un *Pater* et de deux *Ave*, et la tourmente est passée !... Nous sommes bien vivants sous notre abri protecteur qui lui-même est intact. La Providence nous avait conservés sains et saufs, permettant que nous ayions été épargnés de toute façon dans notre petit camp de *calles* de cèdre, en forme de toit de six pieds de hauteur, et ayant une inclinaison de 40 degrés... L'incident, comprenant la formation de la trombe, son parcours sur le lac et son ravage dans la forêt montagneuse près de nous, avait à peine duré cinq minutes !

" Le calme s'étant fait, nous quittons notre abri pour regarder devant nous et autour de nous. Nous apercevons notre chaloupe du poids de sept à huit cents livres qui, soulevée hors de l'eau, est

simplement retombée renversée sur la terre sans que ses rames aient bougé et que son amarre se soit rompue. Les ondes du lac sont agitées au point de former un raz de marée dont la vague de un pied de hauteur venait expirer avec effort sur le rivage. En arrière, nous voyons des arbres cassés, et il nous semble que sur quatre à cinq arpents de largeur jusqu'au sommet de la montagne qui a bien 250 à 300 pieds d'altitude, il y a dégât complet, abatis général...

" Il est temps de reprendre notre marche... A peine avions-nous fait quelques trente pieds que notre route, naguère si accueillante, est barricadée et comme à l'état de siège. Impossible d'avancer !. Notre chemin est introuvable, abîmé, littéralement disparu dans la tourmente ! Bon gré mal gré, nous avions fait quelques arpents, quand la nuit noire nous force de nous arrêter... Le lendemain vers 7 heures, l'un de nous entreprend un voyage d'information dans le but de savoir si nous pouvions continuer notre ascension sans péril.— " Il n'y a pas moyen de nous aventurer plus loin ; en haut, c'est pire qu'ici, dit-il ; retournons sur nos pas "... Notre retour s'effec-

tuait après trente-une heures d'absence, nous qui étions partis pour... huit jours !... Dans tous les cas, *Deo gratias* !"

Notre correspondant ajoute que, d'après le rapport d'un expert envoyé par les directeurs du club Marmier, la forêt a été rasée complètement sur une longueur d'au moins cinq milles vers l'est, en partant du lac Roberge dans la direction du lac Profond, et sur une largeur de dix à quinze arpents. On estime que la réparation du chemin près du lac exigera le travail de quatre hommes durant quatre jours, et que, plus loin vers l'est, il faudra le travail de quatre hommes durant quinze jours.

*
* *

Comme les différentes particularités qui caractérisent les trombes sont assez variables, il importe maintenant d'entrer dans quelques détails et de relater brièvement le résultat des observations faites dans les différents pays, surtout aux États-Unis où ces météores ont été bien étudiés.

On distingue deux espèces de trombes : les trombes *marines* et les trombes *terrestres*. Les

premières se forment presque toujours par temps calme et ne sont pas ordinairement accompagnées de phénomènes électriques ; c'est dans la région des calmes équatoriaux qu'on les rencontre le plus souvent. Quand une trombe est sur le point de se former, on voit, au-dessous de gros nuages noirs peu élevés, pendre une espèce de protubérance en forme d'entonnoir dont la pointe est dirigée vers le bas, et qui s'allonge de plus en plus vers la mer ; en dessous, l'eau s'agite, tourbillonne et s'élève sous forme d'une colonne liquide qui finit bientôt par rejoindre la protubérance nuageuse. C'est cette rencontre du nuage qui s'abaisse avec l'eau soulevée qui constitue la trombe. D'après le témoignage de tous les observateurs, il se produit à l'intérieur de ce tube nébuleux, qui tourne sur lui-même avec une grande rapidité, un mouvement ascendant de l'eau de la mer, lequel, comme l'affirment quelques-uns, peut se rendre jusqu'au nuage lui-même.

On a remarqué, assez rarement toutefois, que les choses se passent parfois dans l'ordre inverse : c'est la colonne d'eau qui se soulève la première

et qui rencontre ensuite, après quelque temps, l'entonnoir nuageux dont elle semble avoir provoqué la formation.

Outre le mouvement de rotation dont nous venons de parler, les trombes marines se déplacent aussi, mais avec une vitesse généralement assez modérée, parce qu'elles ne font que subir l'entraînement des nuages qui leur ont donné naissance. La colonne nébuleuse de la trombe n'est jamais verticale ni rectiligne, mais elle présente plutôt la forme d'un arc ou d'une ligne brisée, et elle disparaît de deux manières, après avoir franchi une certaine distance, soit en se repliant sur elle-même à la manière d'un vers, soit en s'éparpillant dans toutes les directions avec chute considérable d'eau,— les observateurs disent qu'elle *crève*,— lorsqu'elle se heurte sur un obstacle.

Ces quelques notions suffisent pour caractériser les trombes marines, d'ailleurs rencontrées par très peu de navires, et sur lesquelles les renseignements sont plus ou moins vagues. Portons de préférence notre attention sur les trombes *terrestres*, mieux observées que les premières et qui n'en diffèrent, semble-t-il, que par les dimensions.

Au lieu d'une dizaine de pieds, diamètre généralement admis pour les trombes marines, la colonne tournoyante des trombes terrestres est beaucoup plus volumineuse et son diamètre à la base peut aller jusqu'à cinq à six cents pieds et même plus.

Après avoir signalé le fait que la plupart des trombes terrestres, accompagnées d'un vent violent, prennent naissance pendant les orages de la saison chaude sous un cumulo-nimbus qui s'abaisse vers le sol, sous forme d'un cône pointu animé d'un mouvement très rapide de rotation, surtout dans le voisinage du centre de la colonne nuageuse, on peut résumer de la manière suivante les résultats des observations faites en Europe et, en particulier, aux États-Unis où ces curieux météores sont très fréquents :

Bien que les trombes soient très souvent accompagnées de manifestations électriques, de chutes de pluie et de grêle, on a reconnu qu'il n'en est pas toujours ainsi, en particulier pour la trombe de Paris, le 10 septembre 1896 et celle d'Asnières, le 18 juin 1897.

Nous avons vu qu'une trombe se présente la plupart du temps à nos yeux sous forme de tube

vaporeux tournant sur lui-même avec une extrême rapidité ; mais ce tube n'existe pas toujours, comme ce fut le cas pour la trombe de Paris en 1896, ou plutôt la trombe n'est pas toujours visible, même quand elle cause beaucoup de dégâts. Ce qui constitue essentiellement une trombe, c'est le mouvement tourbillonnant de l'air sous l'influence d'un nuage orageux ; la trombe ne devient visible que par la condensation de la vapeur d'eau qui afflue de toute part dans la colonne d'air en rotation, et sur une longueur d'autant plus variable que la vapeur est plus ou moins voisine de son point de saturation, de sorte que l'apparence nébuleuse peut faire complètement défaut dans le cas d'un air relativement sec.

Les trombes terrestres, comme les trombes marines, ont aussi un mouvement de translation, beaucoup moins rapide de celui de rotation, et qui est compris entre vingt et quarante milles à l'heure. La colonne nébuleuse, entraînée par le nuage orageux dans sa course, est presque toujours oblique par rapport à la verticale, la partie inférieure en arrière. Bien plus, il arrive quelquefois qu'elle quitte momentanément le sol et

s'avance par bonds gigantesques, sans cesser, pour quelques cas du moins, d'exercer ses ravages sur les objets terrestres. La partie ravagée est toujours relativement très restreinte, de trois à quatre cents pieds de largeur sur une longueur variant de deux ou trois à une quinzaine de milles.

Le correspondant que nous avons cité au commencement de cette causerie a noté le bruit particulier qui accompagnait la trombe du lac Roberge, bruit qu'il compare à celui d'une machine broyant de la pierre : un pareil phénomène a été également constaté dans un grand nombre de trombes. Tantôt on affirme que ce bruit ressemble à celui d'un train de chemin de fer, tantôt on l'assimile à celui de voitures chargées de ferrailles roulant sur un terrain raboteux. La comparaison employée par notre correspondant, on le voit, s'accorde parfaitement bien avec celles qui ont été proposées par les autres témoins des trombes. L'on croit que la cause principale de ce bruit provient du frottement réciproque des débris de toute sorte que la trombe fait tourner avec une grande vitesse.

Mais les points les plus importants sur lesquels devrait se porter l'attention des observateurs, ce sont, en premier lieu, la variation brusque et instantanée de la pression barométrique au moment du passage d'une trombe, et, d'autre part, les mouvements ascendants dans le tube vaporeux, mouvements constatés par plusieurs observateurs, en particulier par le naturaliste Lamarck.

Il serait à souhaiter que les trombes passassent toutes au-dessus de stations météorologiques munies de baromètres enregistreurs. Cet heureux hasard ne s'est présenté que pour quatre trombes, celles du 20 octobre 1894 à Little-Rock, Arkansas, du 10 septembre 1896 à Paris, du 18 juin 1897, à Asnières près Paris et du 17 novembre 1898, observée dans la baie des Bizerte par les vaisseaux français la *Tempête* et la *Flèche*. Les diagrammes obtenus, dans ces quatre stations, sont des traits verticaux, trahissant dans la pression atmosphérique une baisse subite suivie, dans l'intervalle de quelques secondes, d'une hausse correspondante, pendant que des instruments très voisins n'ont indiqué aucune variation.

Cette dépression barométrique presque instantanée et les mouvements ascendants qui en sont la conséquence jettent une vive lumière sur la nature et l'origine des trombes, comme nous le verrons plus loin. Bien que la plupart des dégâts causés par les trombes, — arbres brisés ou déracinés, maisons arrachées et transportées à plus de trois cents pieds de distance (États-Unis), toitures soulevées, — s'expliquent par la violence extraordinaire des courants tourbillonnants, il est certains effets qui semblent exiger l'intervention d'un courant ascendant à forte composante verticale.

Tel est le cas, observé aux États-Unis en 1875, d'un lourd véhicule franchissant une clôture de six pieds de hauteur et transporté à une distance d'une cinquantaine de pieds ; tel est aussi celui d'une poutre carrée de quarante pieds de long soulevée au-dessus des maisons, et, croyons-nous, c'est ce qui explique le soulèvement pour ainsi dire sur place de la chaloupe de notre correspondant, sur les bords du lac Roberge.

Les effets produits sur les maisons, qui supposent une forte pression de dedans en dehors au

point de faire éclater les portes et les fenêtres et même de soulever les toits, trouvent une explication toute naturelle dans cette diminution très brusque et très rapide de la pression de l'air dans l'intérieur de la trombe, comme l'attestent les diagrammes des baromètres enregistreurs. Si la maison est suffisamment close, la diminution de pression n'a pas le temps de se communiquer à l'air intérieur, et il en résulte, dans ce dernier, une force expansive extraordinaire s'exerçant vers l'extérieur. C'est, en somme, l'expérience classique, effectuée dans tous les cours de physique, d'une vessie fermée qui se gonfle et même éclate lorsqu'on la soumet au vide de la machine pneumatique.

Nous avons vu plus haut que la petite hutte qui abritait nos excursionnistes a été épargnée par la trombe du 23 août dernier : c'est que, tout probablement, la trombe, qui devait s'avancer obliquement la partie inférieure en arrière, a glissé sur le toit peu élevé et incliné de la hutte, et que, d'autre part, par les ouvertures nombreuses laissées entre les planches mal assujetties, la diminution de pression a pu rapidement se faire sentir

dans son intérieur ; c'est le cas d'une vessie percée de trous que l'on voudrait faire éclater, évidemment sans succès, dans le vide de la machine pneumatique.

*
* *

Comment explique-t-on les trombes et quelles en sont la nature et l'origine ?

Avant de répondre directement à cette question, il est important de déclarer qu'il faut bien se garder de confondre les trombes avec les cyclones, comme cela arrive quelquefois dans les journaux, notamment au sujet de la trombe du lac Roberge et de celle qui a ravagé Régina, en juin 1912.

Les trombes et les cyclones n'ont de commun que leur double mouvement tourbillonnant et de translation, mais diffèrent nettement par tous leurs autres caractères. Les cyclones sont des phénomènes de *circulation générale* de l'atmosphère, à lois parfaitement définies, et dont le diamètre est toujours très grand par rapport à la hauteur ; on en a déjà observé d'assez considérables pour couvrir toute la région du continent

américain qui s'étend depuis les Grands Lacs jusqu'à Terre-Neuve. On compare un cyclone à une pièce de monnaie, beaucoup moins épaisse que large.

Les trombes, au contraire, sont des perturbations purement locales, de dimensions très restreintes et dont les ravages ne se font sentir que sur quelques milles. Ce sont des accidents dans un orage, elles prennent naissance dans un cumulo-nimbus orageux et meurent avec lui. Si l'on figure un cyclone par un disque, on représente une trombe par un fil, beaucoup plus long que large.

Laissant de côté certaines théories qui ont été proposées pour expliquer les trombes et qui sont en contradiction avec plusieurs faits bien constatés, on peut soutenir, en partant des deux principaux phénomènes que nous avons signalés plus haut, c'est-à-dire la diminution brusque de pression et les mouvements ascendants dans le tube vaporeux, que les trombes résultent de remous, de tourbillons très rapides dans la partie inférieure d'un nuage orageux. Pour provoquer la naissance de pareils tourbillons, il suffit d'admettre

en un point déterminé du cumulo-nimbus, la rencontre de courants d'air voisins animés de vitesses différentes, ou de deux courants allant en sens inverses l'un de l'autre. Ce mouvement tourbillonnant de l'air produit alors une force centrifuge très énergique et, par suite, une dépression barométrique intense que l'air inférieur voisin vient combler en se soulevant et en tournant sur lui-même. L'appel de l'air qui se fait au sein du nuage, pourvu que la hauteur de ce dernier ne dépasse pas quelques 3,000 pieds, se communiquerait ensuite de proche en proche dans les couches plus basses de l'atmopshère et constituerait un tourbillon pouvant atteindre le sol, soulever les objets et produire, par conséquent, les mouvements ascendants caractéristiques des trombes. Le soulèvement de l'eau, dans les trombes marines en particulier, a été réalisé expérimentalement par l'ingénieur français M. Weyher, au moyen d'un moulinet tournant très rapidement au-dessus d'un bassin plein d'eau.

Cette théorie, déjà esquissée par Franklin et développée par M. Alfred Angot dans son *Traité élémentaire de météorologie*, paraît suffisamment

plausible et rend compte des principales propriétés des trombes. On se rappelle que notre correspondant a signalé, pour la trombe du lac Roberge, la rencontre de nuages jaunes et noirs poussés les uns vers les autres par de violents courants d'air animés de vitesses contraires. Ce sont peut-être ces courants qui ont produit le mouvement tourbillonnant de l'air, cause de la trombe dont il a été le fortuné témoin.

Ajoutons, pour terminer, que la trombe a traversé le lac de l'ouest à l'est : c'est bien la direction que suivent tous les orages en notre pays et qui s'explique par les lois générales qui régissent toute la météorologie américaine et canadienne.

LES AURORES POLAIRES

LES AURORES POLAIRES [1]

Durant le cours de l'année dernière, surtout pendant quelques belles nuits du printemps, nous avons été témoins de splendides phénomènes lumineux, sous forme de lueurs verdâtres ou violacées qui sillonnaient une partie du ciel de traînées brillantes, ou qui se projetaient sur la voûte céleste en longs faisceaux de rayons colorés comparables à des fusées d'artifice.

Nos bonnes gens disent alors *qu'il y a des tirants dans le nord*, ou bien encore, à cause des mouvements très curieux des lueurs qui font croire à une danse désordonnée dans les profondeurs du ciel, ils les appellent des *marionnettes*.

Les physiciens et les météorologistes, tout en reconnaissant et appréciant ce qu'il peut y avoir de poétique et même d'exact dans ces appellations, désignent ces remarquables manifestations lumineuses de la haute atmosphère sous le

(1) *Le Canada français*, février 1919.

nom d'*aurores polaires*. On entend dire le plus souvent *aurores boréales* : ce sont celles que l'on observe dans notre hémisphère, et l'on nomme *aurores australes* celles qui se manifestent au voisinage du pôle sud. Il est prouvé maintenant par des observations suivies que ces deux classes d'aurores apparaissent toujours simultanément et sont, par suite, intimement liées entre elles. Quelquefois aussi, mais très rarement, une même aurore s'étend d'un pôle à l'autre et couvre, sur une largeur plus ou moins grande, toute l'étendue du firmament.

Les aurores boréales ont été observées de toute antiquité : Aristote et Sénèque en font mention et Pline les redoutait comme les présages des plus tragiques événements. Au moyen-âge, les aurores boréales semaient l'épouvante parmi les populations. Les recits du temps, au sujet de ce brillant météore, parlent de têtes hideuses à cheveux hérissés, d'épées sanglantes et de torches enflammées que l'imagination exaltée par la frayeur voyait apparaître dans les couches atmosphériques.

D'après la chronique de Louis XI, on vit à Paris, le 23 juillet 1461, un météore "avec grand resplendisseur et grande clarté, tellement qu'il semblait que tout Paris fût en feu et en flambe, dont Dieu veuille le préserver !" Ce fut de même le 18 novembre 1465, pendant les troubles de la Ligue du bien public. "Le roi Louis XI monta à cheval et s'en alla sur les murs ; tous les quartiers furent assemblés et chacun prit son poste de garde aux murailles. Le bruit courait que les ennemis, devant Paris, s'en allaient brûlant et endommageant la ville partout où ils pouvaient, et fut trouvé que, de tout ce, il n'était rien".

Même à une époque beaucoup plus rapprochée de la nôtre, les aurores boréales ont souvent répandu la terreur parmi le peuple. Voici ce que rapporte Jules Gay, dans ses "Lectures scientifiques", au sujet des aurores parues à Paris pendant la guerre franco-prusienne :

"Nous avons connu ces émotions, nous qui avons été témoins, pendant le siège de Paris par l'armée prussienne, des deux aurores boréales du moins d'octobre. Dès le commencement de la

nuit, à la première apparition, une lueur se remarquait au nord, et, peu à peu, le ciel s'éclairait d'une nuance rose, qui en envahissait la moitié. De temps à autre s'élançaient des rayons colorés, presque toujours d'un rouge de sang très intense, tandis que se montraient, çà et là, au-dessus de Paris, des plaques rouges, sanglantes aussi. Au moment où le phénomène touchait à son terme et quand le ciel s'assombrissait déjà, on vit, tout d'un coup, la couleur rouge resplendir encore d'un effrayant éclat. Le lendemain, l'apparition recommençait avec une intensité un peu moindre et laissait voir des irradiations blanches, lumineuses, dont le centre était placé vers la constellation de Pégase ; traduisant les impressions de leur âme, les uns en comparaient l'aspect à une gloire, les autres à une croix. Parmi les habitants de Paris, il en est peu que ces phénomènes n'aient saisis de crainte et à qui, dès l'abord, ils n'aient inspiré la pensée qu'une grande machine incendiaire était mise en jeu, pour forcer les murailles ou pour démoraliser leurs défenseurs. Il en est peu qui, voyant qu'il s'agissait seulement d'une

aurore boréale d'une espèce rare, n'aient cherché alors quels pronostics heureux ou malheureux pouvait en tirer leur patriotisme ému.

" L'aurore du septentrion, comme l'appelait Grégoire de Tours, il y a treize cents ans, offre des aspects qui varient un peu avec les latitudes. Dans les régions polaires, où elle s'observe souvent, elle n'étonne guère et se confond même avec le crépuscule. Dans le centre de l'Europe, où le phénomène, moins fréquent, est presque toujours caractérisé par un ciel sanglant et par des traits rapides, qui jaillissent dans l'espace comme des lances ou des javelots, son aspect justifie les récits qui nous montrent dans le ciel des armées s'entrechoquant avec fureur, au milieu d'une vapeur enflammée. En Calabre, où les apparitions sont plus rares, on y a vu des arcades, des portiques : le palais de la fée Morgane. La Grèce, toujours poétique et plus rarement favorisée de la visite des aurores polaires, contemplait, dans le ciel embelli par leurs feux, l'assemblée des dieux, tenant conseil sur l'Olympe, en présence de Jupiter."

* * *

C'est surtout dans les froides régions des hautes latitudes, dans le voisinage des cercles polaires, que l'on contemple le plus souvent le magnifique phénomène des aurores polaires. Si l'on réunit par des lignes continues tous les points de la terre où l'on voit annuellement le même nombre d'aurores, on obtient des courbes fermées, presque circulaires, qu'on appelle des courbes *isochasmes*. L'isochasme de plus grande intensité, c'est-à-dire qui passe par les points où les aurores sont le plus fréquemment observées, traverse la partie septentrionale de l'Ungava, de la baie d'Hudson, des territoires du Nord-Ouest et de l'Alaska, puis, après avoir circulé dans l'Océan glacial arctique, effleure le nord de la Sibérie et de la Norvège. Le nombre des aurores diminue si l'observateur s'éloigne de cette ligne, au nord ou au sud. Elles sont plutôt rares dans les régions tempérées, et ne se voient que par exception à l'équateur.

L'aspect des aurores polaires, de même que leur étendue dans le ciel, les formes et les colorations qu'elles affectent, sont très variables ; outre que leur fréquence dépend du lieu d'observation et de l'époque de l'année, on remarque qu'elles sont

d'autant plus belles que l'on est plus rapproché du pôle magnétique terrestre. Une aurore complète, classique, comme on pourrait l'appeler, se présente sous la forme d'un arc brillant dont les extrémités s'appuient sur l'horizon et dont le centre est à peu près dans le plan du méridien magnétique. L'espace compris à l'intérieur de l'arc, à cause de l'obscurité qui y règne, porte le nom de *segment obscur*. De tous les points extérieurs de la bande lumineuse, qui augmente d'épaisseur et d'éclat à mesure que le météore se développe, s'échappent des traînées éclatantes, des rayons verdâtres, violacés, souvent empourprés, animés de mouvements très rapides. Ces rayons empiètent quelquefois les uns sur les autres et simulent l'aspect de draperies étincelantes agitées par le vent.

Les rayons lancés dans l'espace par l'arc auroral présentent une direction parallèle à l'aiguille d'inclinaison et se dirigent vers un point du ciel, appelé le *zénith magnétique*, où va aboutir le prolongement de cette aiguille. Ils forment alors ce qu'on nomme la *couronne* et, envahissant quel-

quefois tout le ciel, se disposent comme une immense coupole agitée d'où jaillissent mille feux diversement colorés.

On voit aussi, dans certaines aurores boréales, plusieurs arcs lumineux se succédant les uns aux autres et alternant avec des bandes obscures ; le phénomène, d'autre part, n'est pas toujours aussi complet ni aussi brillant que nous venons de le décrire. L'arc auroral n'est pas toujours visible, surtout pour les localités trop éloignées du pôle magnétique ; dans ces conditions, on ne voit qu'une partie des rayons ou une lueur qui peut se confondre avec l'aurore solaire ordinaire.

Ajoutons que les aurores polaires ne se produisent pas toujours à la même hauteur dans l'atmosphère ; d'après certains observateurs, on leur assigne quelquefois une hauteur de 150 kilomètres, tandis que d'autres sont assez rapprochées du sol pour qu'on les voie se projeter sur les collines du voisinage.

Les aurores boréales sont surtout remarquables par les rapports qu'elles ont avec le magnétisme terrestre.

L'on sait que la Terre se comporte comme un aimant et que son voisinage est un véritable champ magnétique qu'on appelle le *champ terrestre*. Une aiguille aimantée, mobile dans un plan horizontal, prend une direction déterminée, différente quelque peu de celle du méridien géographique, suivant les localités ; le plan vertical qui passe par les deux pôles d'une aiguille aimantée s'appelle le *méridien magnétique* et l'angle déterminé par le méridien magnétique et le méridien géographique d'un lieu constitue la *déclinaison magnétique* de ce lieu. Si, d'autre part, dans le plan du méridien magnétique, on suspend une aiguille aimantée par son centre de gravité, elle prendra la direction des lignes de force magnétiques, et l'angle qu'elle fait avec l'horizon s'appelle l'*inclinaison magnétique*.

La déclinaison est *orientale* ou *occidentale* suivant que l'extrémité nord de l'aiguille aimantée est à l'*est* ou à l'*ouest* du méridien astronomique ; de même, l'inclinaison est *positive* ou *négative* suivant que le *pôle nord* ou le *pôle sud* de l'aiguille est au-dessous de l'horizon.

La déclinaison, le 16 septembre 1887, était, à Québec, 17° 12' 14" ouest, et l'inclinaison, 76° 5'.

Les nombreuses observations faites aux différents points du globe ont montré que la distribution du magnétisme terrestre varie dans de larges limites d'un lieu à un autre. Si, sur un globe qui représente la Terre, on fait passer des lignes par tous les points où l'on observe même déclinaison, on obtient ce que l'on a appelé des lignes *isogones*, qui ressemblent quelque peu aux méridiens géographiques ; on réserve, d'autre part, aux lignes qui joignent les points de même inclinaison le nom de lignes *isoclines*, lesquelles ont grossièrement la forme des parallèles terrestres. Parmi ces lignes, il en est une le long de laquelle l'inclinaison est nulle, c'est-à-dire que l'aiguille se tient horizontale comme les lignes de force magnétiques qui la dirigent : c'est l'*équateur magnétique*, qui s'écarte quelque peu de part et d'autre de l'équateur terrestre. L'inclinaison devient *positive* ou *négative* et augmente progressivement, dans l'un et l'autre hémisphère, à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur, jusqu'à deux points particuliers, appelés *pôles magnétiques*, où l'inclinaison vaut

90° et où l'aiguille d'inclinaison est verticale. L'un de ces points est situé au nord de l'Amérique, vers le 75e degré de latitude nord, et l'autre au sud de l'Australie, vers le 72e degré de latitude sud, ce qui montre qu'ils ne coïncident pas avec les pôles géographiques de la Terre.

Les études poursuivies par de nombreux physiciens ont révélé ce fait important, à savoir que les éléments du magnétisme terrestre manquent absolument de stabilité et subissent des variations importantes que l'on peut comprendre sous deux catégories distinctes : les *variations périodiques* et les *variations accidentelles.*

Les premières sont ou à *longue période* ou à *période beaucoup plus courte.* La déclinaison varie continuellement pour un même lieu et peut même changer de signe, c'est-à-dire d'orientale devenir occidentale ou vice-versa. C'est ainsi qu'à Paris, la déclinaison orientale a diminué de l'année 1600 à 1666, où elle est devenue nulle ; depuis cette époque, elle est occidentale et elle redeviendra nulle vers l'an 2031. A Québec, la déclinaison occidentale va en diminuant chaque année et tend à devenir orientale.

Ces variations semblent démontrer que la ligne des pôles magnétiques tourne d'un mouvement uniforme autour des pôles géographiques dans une période évaluée à environ sept cent trente ans.

Mais les éléments magnétiques, et surtout la déclinaison, subissent des variations de périodes beaucoup plus courtes, appelées variations *diurnes* et variations *annuelles*. La déclinaison passe par deux maxima et deux minima en vingt quatre heures ; de plus, l'amplitude de ces variations est plus grande au solstice d'été et diminue près du solstice d'hiver. On remarque aussi que la déclinaison, maximum au mois de mars, diminue d'une manière continue et devient minimum en juillet.

Les autres variations n'ont pas ce caractère remarquable de périodicité ; on les appelle variations *accidentelles* et elles se trahissent sous forme de perturbations qui n'offrent aucune régularité, comme l'attestent les indications des instruments enregistreurs : ce sont les *orages magnétiques*, qui se font sentir sur une étendue considérable de la surface terrestre et coïncident, s'ils n'en sont pas la cause, avec les *courants telluriques*.

On appelle ainsi des courants électriques qui circulent sans cause connue et avec une grande irrégularité sur les fils télégraphiques, tant souterrains qu'aériens, et qui, par leur force électromotrice souvent très grande, troublent les communications télégraphiques au point de les rendre inintelligibles, affectent les sonneries et produisent souvent des étincelles.

Chose très curieuse, il y a une relation remarquable entre ces différents phénomènes magnétiques et électriques et les aurores boréales. Celles-ci accompagnent presque toujours les orages magnétiques et les grandes variations des courants telluriques. Pour ne citer qu'un exemple entre mille, nous traduisons une note parue le 10 août 1917 dans le journal *Evening World*, de New-York:

" La nuit dernière, un orage électromagnétique d'une grande violence est passé sur toute la partie orientale des États-Unis. Causé par une brillante aurore boréale,— the Northern Lights,— il a interrompu pendant plusieurs heures toutes communications par télégraphe et par téléphone à longue distance. Entre New-York et les localités situées à l'ouest, il a été impossible d'envoyer

aucun message télégraphique.. Il a été impossible également, entre 12 h. 15 m. A. M. et 9 h. 15 m. A. M. de faire fonctionner les câbles transatlantiques..."

Nous avons déjà signalé le fait que l'arc auroral est toujours orienté symétriquement par rapport au méridien magnétique et que les rayons qui s'en échappent, même quand ils affectent la forme de draperies flottantes, sont parallèles à l'aiguille d'inclinaison et suivent, vers la voûte du ciel, la même direction.

Outre cette particularité qui n'est certes pas l'effet du hasard, on remarque que le printemps et l'automne, époques des maxima de la fréquence des aurores boréales, sont les saisons où s'observent les maxima des valeurs de la déclinaison magnétique.

Enfin, le magnétisme terrestre et les aurores polaires paraissent subir l'influence des taches du Soleil.

Quelles que soient leur origine et les hypothèses que l'on a émises pour les expliquer, les taches du Soleil sont des surfaces sombres, très irrégulières de formes, que l'on aperçoit sur le disque

radieux et qui ont été vues pour la première fois, presque simultanément, par Jean Fabricius et Galilée, en 1611. Ces taches ne sont pas toujours également nombreuses sur la surface du Soleil : tantôt on n'en voit aucune, tantôt on en voit jusqu'à 80 à la fois. Mais cette irrégularité n'est jusqu'à un certain point qu'apparente ; on a découvert, dans le nombre des taches, une périodicité remarquable en vertu de laquelle il s'écoule onze ans entre deux maxima : c'est ce qu'on a appelé la *période undécennale* qui s'étend à tout le système solaire, à l'atmosphère du Soleil et aux éléments du magnétisme terrestre. Il y a un parallélisme très curieux entre les variations des taches solaires, les fluctuations quotidiennes de l'aiguille aimantée et les orages magnétiques terrestres. C'est ainsi que les plus grandes valeurs dans la variation diurne de la déclinaison sont observées tous les onze ans, en coïncidence parfaite avec la période des maxima des taches solaires.

Bien plus, non seulement il y a coïncidence entre les orages magnétiques et les taches du Soleil, mais encore il en est de même pour les aurores polaires : celles-ci semblent soumises à la période

undécennale, et les années des maxima pour ces trois classes de phénomènes sont les mêmes.

Il y a donc une relation évidente entre les fluctuations de l'activité solaire et les variations des aurores boréales ainsi que des éléments du magnétisme terrestre, et c'est certainement dans l'étude approfondie de ces relations qu'il faut chercher l'origine du brillant météore qui fait le sujet de cette causerie.

*
* *

D'où viennent les aurores polaires et quelles en sont les causes physiques ?

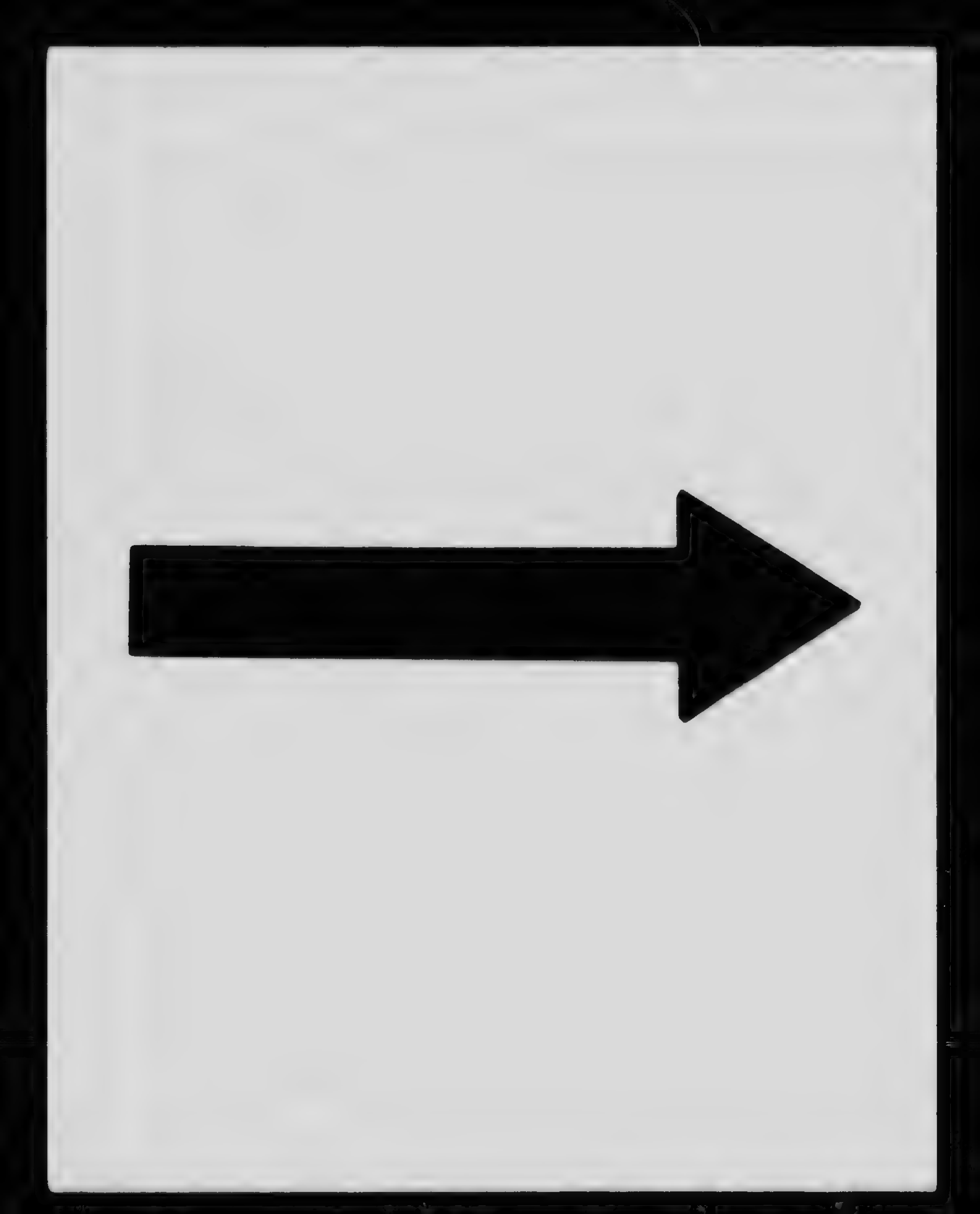
Il faut d'abord rejeter sans hésitation de nombreuses hypothèses qui ont été proposées depuis longtemps. Les aurores boréales ne sont pas dues à des exhalaisons émises par les régions polaires et dont la fermentation produirait de la lumière, ni à des particules d'air que les rayons du Soleil lanceraient à une grande hauteur, ni à la réflexion et à la réfraction des rayons solaires sur les glaces polaires et les particules des glaces suspendues dans l'air ; d'après ce que nous avons dit plus

haut, on peut affirmer avec une certaine certitude que les aurores polaires sont le résultat de décharges électriques dans les gaz raréfiés de la haute atmosphère.

Pour justifier cette manière de voir, rappelons brièvement les phénomènes lumineux que présentent les tubes de *Geissler* et les ampoules de *Crookes*.

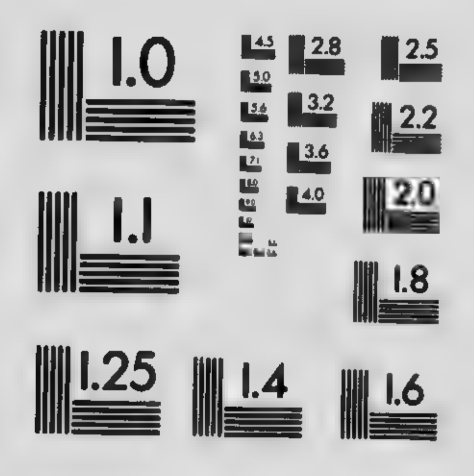
Si l'on fait jaillir une décharge électrique de haute tension, comme celles que produisent les machines statiques et les bobines d'induction, dans des tubes de verre à gaz raréfiés, on observe des lueurs dont les colorations varient avec la nature des gaz contenus dans le tube et avec la pression et la densité du courant de décharge. Ces lueurs provoquent de belles *fluorescences*, si le tube de Geissler est recouvert de sels d'urane ou si on l'entoure de certains liquides. La nature du gaz se reconnaît facilement par les raies brillantes caractéristiques que le spectroscope permet de constater.

Un tube de Geissler, dans lequel on pousse le vide jusqu'à quelques millionièmes d'atmosphère, devient un tube ou une ampoule de *Crookes* et



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





la décharge électrique qui la traverse change totalement d'aspect : les lueurs disparaissent presqu'en entier, et l'on voit partir de l'électrode négative, de la *cathode* comme on l'appelle, des rayons qui, en frappant la paroi opposée du tube, produisent sur le verre une belle fluorescence verdâtre. Ces rayons ont été appelés *rayons cathodiques* et ils ont la curieuse propriété, sur laquelle il faut insister, d'être sensibles à l'action d'un aimant. Celui-ci les attire ou les repousse, suivant le pôle approché, et l'on voit alors l'illumination du verre se déplacer à la volonté de l'opérateur.

Ces expériences ne nous fournissent-elles pas une explication du phénomène des aurores boréales ? Ne pourrait-on pas assimiler la haute atmosphère, où l'air est très raréfié, à une vaste ampoule de Crookes dans laquelle une décharge électrique produirait des lueurs colorées dépendant de la nature des gaz traversés ? L'influence d'un aimant sur les décharges électriques rendrait alors compte de l'orientation de l'arc auroral par rapport au méridien magnétique terrestre, du parallélisme des rayons colorés avec la direction de l'aiguille d'inclinaison, ainsi que des coïncidences remarqua-

bles que nous avons constatées plus haut entre les variations, tant périodiques qu'accidentelles, du magnétisme terrestre et la fréquence en même temps que de l'intensité des aurores boréales.

M. Villard, qui explique les aurores polaires par l'enroulement des rayons cathodiques dans le champ magnétique terrestre, en a reproduit les principaux aspects au moyen d'une grande ampoule de Crookes soumise à l'action d'un puissant électro-aimant. On voit alors se former une aurore boréale artificielle que l'on peut faire tourner en variant d'une certaine manière le champ magnétique ; on imite également, par un moyen analogue, la *danse* des rayons.

Il semble donc que les aurores polaires, du moins dans les grandes lignes du météore et pour ses principales particularités, doivent être classées parmi les phénomènes électro-magnétiques. Il reste maintenant à chercher l'origine de ces décharges électriques dans la haute atmosphère.

Un fait bien constaté par les physiciens, c'est que l'air, même par un temps serein, est constamment électrisé. Dans un ciel calme et pur, le potentiel va en augmentant avec l'altitude. Dans

un ciel nuageux, la variation du potentiel ne suit aucune loi précise et sa distribution dépend du degré d'humidité de l'air, ainsi que de la position et des charges électriques des nuages. L'air se comporte comme un champ électrique dans lequel des conducteurs, les nuages en particulier, peuvent s'électriser par influence, et, sauf certains cas exceptionnels, le potentiel de l'air est toujours positif et celui du sol négatif.

L'électrisation des nuages peut avoir plusieurs causes. En premier lieu, la chute des gouttelettes d'eau des nuages produit un frottement sur l'air qui a pour effet d'électriser les gouttes positivement et il en sera de même pour le nuage qui résulte de leur réunion.

Les nuages peuvent aussi se charger par influence du sol ou des autres nuages déjà électrisés, et ce dernier cas peut se présenter pour les *cirrus*, ces nuages très élevés, floconneux, qui ressemblent à de la laine cardée et qui sont constitués par de fines aiguilles de glace. S'ils passent au-dessus de nuages électrisés, l'influence développe alors les deux charges de noms contraires aux deux extrémités, comme cela arrive pour tout conduc-

teur neutre que l'on approche d'une machine électrique. Il suffit, dans ces conditions, qu'une cause extérieure leur fasse perdre l'une de ces deux charges pour que l'autre, restée seule et libre, puisse produire des décharges dans l'air raréfié des hautes régions où ils flottent.

Cette cause extérieure existe : on a reconnu, par des expériences précises, que les rayons *ultra-violets* du spectre solaire ont la propriété de décharger les conducteurs de leur électricité négative, mais n'ont pas d'action sur l'électricité positive.

C'est en se basant sur cette influence *actinique* des rayons solaires que plusieurs physiciens ont émis l'opinion, très vraisemblable et tout à fait soutenable, que les aurores boréales seraient des effluves électriques dues à des décharges entre les cirrus électrisés positivement par l'action des rayons ultra-violets et les masses négatives de l'air ambiant. Ces conclusions trouvent en quelque sorte une confirmation dans ce fait que les aurores polaires sont plus fréquentes pendant la saison froide, c'est-à- lorsque le Soleil se trouve dans l'hémisphère opposé au pôle près duquel se montre le météore.

L'analyse spectrale, bien que très difficile à faire à cause de la très faible intensité de la lumière des aurores, a tout de même fait voir que les lignes brillantes de leurs spectres présentent des coïncidences satisfaisantes avec les bandes de l'azote, et que, de plus, une raie verte caractéristique de la lumière aurorale se rattache à celle du krypton ou de l'argon. On serait donc réellement en présence d'une décharge électrique dans les gaz raréfiés de l'atmosphère.

La théorie que nous venons d'esquisser n'est par la seule en honneur chez tous les physiciens. Quelques-uns font intervenir la pression de radiation émanée du Soleil ; d'autre, comme M. Nordmann, invoquent l'action d'ondes hertziennes dont le Soleil serait la source.

Quoi qu'il en soit, dans cette question comme dans bien d'autres, il est difficile d'expliquer dans tous les détails un phénomène aussi complexe que celui des aurores polaires. Chaque fois que l'on a recours, pour l'explication d'un fait ou l'établissement d'une théorie, à l'énergie électrique et au magnétisme terrestre, il faut s'attendre à bien des obscurités et quelquefois à des mécomptes.

Il y a encore beaucoup de progrès à faire dans le développement des connaissances électriques, toutes merveilleuses qu'elles sont de nos jours. Le voile qui cache à nos yeux les secrets de cet agent mystérieux qu'on appelle l'électricité est loin d'être complètement soulevé, et la tâche des physiciens de l'avenir reste considérable.

Mais les progrès déjà accomplis nous permettent d'en espérer de plus grands et de plus merveilleux encore, et le jour n'est peut-être pas éloigné où, dans les limites assignées par l'Auteur de toutes choses, il nous sera permis de percer les ombres qui enveloppent un grand nombre de phénomènes incomplètement connus, en particulier, celui des aurores boréales.

LES COURANTS MARINS

LES COURANTS MARINS [1]

L'ensemble des conditions météorologiques des différentes régions de la Terre, c'est-à-dire le *climat* de ces régions, résulte de causes nombreuses et complexes dont la principale, d'ordre purement astronomique, est l'influence de la latitude.

L'on sait que la Terre, relativement à la température, est divisée en cinq zones, la *zone torride*, limitée de chaque côté de l'équateur par les deux tropiques et où la température moyenne annuelle est très élevée, les deux *zones tempérées*, comprises, dans chaque hémisphère, entre les tropiques et les cercles polaires, où la moyenne annuelle s'abaisse de plus en plus et où les températures observées subissent de grandes variations à des époques différentes de l'année, et enfin les deux *zones glaciales*, situées au delà des cercles polaires, et qui présentent une moyenne annuelle très basse, au point d'être caractérisées par des glaces perpétuelles.

(1) *Almanach de l'Action Sociale Catholique*, 1919.

Deux causes, qui s'accentuent de plus en plus avec l'augmentation de la latitude de l'équateur aux pôles, suffisent pour produire ces conditions météorologiques si profondément variées et qui ont tant d'influence sur les productions de la terre, les relations économiques et commerciales et, en général, sur les us et coutumes des hommes : ce sont l'obliquité des rayons solaires et la différence entre les longueurs relatives des jours et des nuits, suivant la position géographique.

Si l'on ne tient compte que de ces deux causes, la température moyenne de l'année devrait croître régulièrement de l'équateur vers les pôles, et les *isothermes* devraient se confondre avec les parallèles géographiques, ce qui veut dire que le climat devrait être le même pour toutes les localités situées sur un même cercle de latitude.

Or, il est loin d'en être ainsi ; il suffit de comparer, par exemple, le climat de l'Amérique du Nord, du Canada oriental en particulier, avec celui des côtes occidentales de l'Europe et de l'Afrique pour constater des différences profondes à égalité de latitude.

Parmi les principales causes qui font varier les climats, telles que l'altitude, la direction des vents, la proximité des mers, etc., l'une des plus curieuses à étudier est l'influence des *courants marins.*

On appelle ainsi de véritables fleuves d'eau chaude ou d'eau froide qui se meuvent dans l'océan, qui ont comme rivages et comme fond les eaux mêmes de la mer. Nous choisirons comme type de courant océanique, — et c'est d'ailleurs celui qui nous intéresse davantage, — le *courant du golfe* ou *Gulf-Stream*, découvert par le lieutenant américain Maury, lequel, dans son fameux ouvrage, *Physical Geography of the Sea*, a jeté les bases d'une science nouvelle, l'océanographie.

Le Gulf-Stream fait partie d'une immense boucle mouvante, qui a pour dimensions toute la largeur de l'Atlantique Nord, et dont le centre est situé près du groupe des Açores.

On assigne plusieurs causes aux courants marins, telles que l'évaporation intense de l'eau des mers torrides, la différence de température, de densité, de salure des eaux à certaines latitudes.

Mais la cause principale réside dans l'action constante et répétée des vents réguliers, en particulier des vents *alizés*.

L'on sait que les vents alizés sont des courants aériens qui soufflent pendant toute l'année sur l'océan Atlantique, du nord-est au sud-ouest, au nord de l'équateur, et du sud-est au nord-ouest, au sud. Ces deux courants, qui s'unissent pour former un vent dirigé presque complètement vers l'ouest, produisent, par leur friction répétée, un entraînement dex eaux de la mer dans leur propre direction. Il en résulte un courant qui va de l'Afrique vers l'Amérique du Sud, qu'on appelle courant *équatorial*, et qui va frapper cette dernière à la hauteur du cap Saint-Roch, au Brésil. Là, le courant se divise en deux branches, dont nous suivront d'abord la première.

Celle-ci longe les côtes des Guyanes et pénètre dans le golfe du Mexique, une des mers les plus chaudes du globe, où l'eau se réchauffe considérablement ; on constate que sa température devient de 10° à 12° centigrades plus élevée que celle qu'elle avait avant d'y entrer. Le golfe du Mexique est une mer presque fermée, et le courant

équatorial, constamment poussé par les vents alizés, n'a d'autre issue pour sortir que le canal de la Floride, large de 45 milles et qui sépare la Floride de Cuba. C'est de là que le courant devient un véritable fleuve d'eau chaude, qui s'élance dans l'océan avec la vitesse considérable de six milles à l'heure, et qu'il prend le nom de *courant du golfe* ou *Gulf-Stream ;* sa profondeur est d'environ 1,300 pieds.

L'on enseigne en mécanique que tout mobile en mouvement à la surface du globe, à cause de la rotation de celui-ci autour de son axe, est dévié vers sa droite dans l'hémisphère boréal, et vers sa gauche dans l'hémisphère austral. Le Gulf-Stream doit obéir lui aussi à cette loi générale, et sa direction change immédiatement dès sa sortie du canal de la Floride. Il s'infléchit d'abord vers le nord-est, puis vers l'est, et, à la hauteur du quarante-deuxième degré de latitude nord, il se déplace franchement de l'ouest à l'est.

Après avoir traversé une grande partie de l'Atlantique, il se divise en deux branches : l'une va passer entre l'Écosse et l'Islande, puis longe les côtes de la Norvège et va faire sentir ses effets

calorifiques dans l'océan glacial, au nord de la Russie et jusqu'au Spitzberg ; l'autre branche revient vers le sud, côtoie le Portugal, l'Afrique occidentale et vient rejoindre le courant équatorial en formant une vaste boucle tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. L'intérieur de cette boucle, où règnent les calmes dus aux centres de hautes pressions barométriques, a été appelé *mer des Sargasses*, parce que c'est là que vont s'accumuler les plantes de ce nom, arrachées des côtes de l'Amérique par les vagues de l'océan.

Il est à noter aussi qu'une branche du Gulf-Stream pénètre dans la mer de Baffin et réchauffe quelque peu les côtes occidentales du Groenland.

A partir de la Floride, le Gulf-Stream suit la côte américaine jusqu'au cap Hatteras, vers le 35° de latitude nord. La rotation de la Terre et le peu de profondeur des eaux l'éloigne de ce point, et c'est de là qu'il se dirige vers les bancs de Terre-Neuve.

Ajoutons aussi que la vitesse, la profondeur et la température du courant du golfe diminuent mesure qu'il progresse dans l'océan, en même temps que sa largeur augmente. Dès le débu

de son cours, la température de ses eaux dépasse 30° centigrade (86° Farhenheit) ; près des bancs de Terre-Neuve la température, quoique diminuée, est encore de 12° C., à tel point que, grâce à l'évaporation intense qui en résulte, on voit souvent la mer *fumer*.

Le débit du Gulf-Stream est évalué à deux mille fois celui du Mississipi, et la quantité de chaleur qu'il transporte vers l'est tempère beaucoup le climat de la partie occidentale du continent européen : c'est le chauffage de l'Europe à l'eau chaude, aux dépens de l'Amérique ! Ces résultats sont indiqués clairement par les cartes sur lesquelles on a tracé les isothermes soit annuelles, soit des mois chauds et froids de l'année. La ligne qui passe par tous les points où la moyenne annuelle de la température est 0°C., ce qu'on appelle l'*isotherme annuelle* 0°, remonte en Europe bien au nord de la Norvège, tandis qu'en Amérique elle descend presque jusqu'à l'embouchure du fleuve Saint-Laurent ; New-York est sur le même degré de latitude que Lisbonne, Québec est près de trois degrés plus au sud que Paris, et, pourtant, l'on sait que

les climats de ces localités sont loin d'être les mêmes. Le port d'Arkhangel, au fond de la mer Blanche, est fermé par les glaces une grande partie de l'année, tandis que plus au nord, sur les côtes de l'océan Glacial, où le Gulf-Stream vient fondre les glaces, la navigation est beaucoup plus facile.

Nous venons de parler de la branche du courant équatorial qui, à partir du cap Saint-Roch, longe les côtes américaines et entre dans le golfe du Mexique, d'où elle donne naissance au Gulf-Stream. L'autre branche descend le long des côtes du Brésil et, grâce au mouvement de rotation de la Terre, qui dévie tous les mobiles vers la *gauche*, dans l'hémisphère austral, forme une boucle symétrique de celle de l'Atlantique nord, dont les eaux tournent en sens inverse des aiguilles d'une montre.

La circulation océanique ne serait pas complète et les lois de l'équilibre ne seraient pas satisfaites, si les eaux chaudes transportées vers le nord par le Gulf-Stream n'étaient pas compensées par des courants de retour. Ces prévisions sont réalisées par la découverte des *courants froids* venant des

mers polaires. Le plus important pour nous est le *courant du Labrador*, courant froid qui suit les côtes occidentales du Groenland et longe le littoral du Labrador : il passe ensuite à l'est de Terre-Neuve, puis progresse près de la côte américaine, jusqu'au cap Hatteras, et se perd dans l'Atlantique, en passant, croit-on, au-dessous du Gulf-Stream.

Ce courant, à cause de sa basse température et surtout à cause des banquises de glaces qu'il entraîne dans le golfe et jusque dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, a pour effet de refroidir le climat du Canada oriental. Ces banquises voyagent tout l'été sur l'océan et viennent fondre en particulier au sud de Terre-Neuve, où le courant du Labrador rencontre le Gulf-Stream. Elles laissent alors tomber sur le fond de la mer les matières solides qu'elles avaient arrachées aux continents polaires, et c'est l'accumulation de ces débris qui a formé les bancs de Terre-Neuve.

On attribue aussi la condensation des brumes épaisses de ces régions, si dangereuses pour la navigation, à la différence de température de ces

deux courants, chaud et froid, qui passent à quelques milles de distance l'un de l'autre.

Il n'est pas improbable qu'un colossal barrage, qui fermerait le détroit de Belle-Isle et empêcherait les banquises de venir fondre dans le golfe Saint-Laurent, modifierait beaucoup le climat de notre pays. Le côté épineux de la question, ce sont les difficultés de construction et le coût d'une telle chaussée. Seuls les ingénieurs compétents peuvent se prononcer sur cette grave question ; tout de même, à première vue, il semble que l'entreprise ne serait pas plus difficile que le percement de l'isthme de Panama ou d'un tunnel sous la Manche.

Le Gulf-Stream n'est pas le seul courant marin ; il en existe un semblable dans l'océan Pacifique, pour des raisons analogues, et comprenant deux boucles symétriques tournant, de chaque côté de l'équateur, dans le même sens que leurs homologues de l'Atlantique. Le courant d'eau chaude de l'hémisphère nord est le *Kuro-Siwo*, le *fleuve noir* des Japonais.— On en connaît un autre aussi, au sud de l'équateur, dans l'océan Indien.

On a reconnu que les courants marins ne sont pas toujours constants ; formés, en effet, par les courants atmosphériques, ils doivent nécessairement varier en vitesse et en débit avec l'intensité des vents qui leur donnent naissance.

Mais les courants marins peuvent-ils changer de direction ?

On a rapporté dans les journaux, il y a déjà quelque temps, que le Gulf-Stream, suivant le rapport de certains marins, avait subi des déplacements dont on appréhendait des conséquences importantes pour le climat de certains pays. Il semble que ce déplacement, surtout s'il est considérable, est bien peu probable, puisque les courants marins sont l'effet de causes bien définies, en particulier de la circulation générale de l'atmosphère et du mouvement de rotation de la Terre. La nouvelle, qui d'ailleurs n'a pas été répétée, demande certainement confirmation...

Nous avons dit plus haut que le Gulf-Stream déverse annuellement sur l'Europe une quantité énorme de chaleur, qui contribue pour une bonne part à tempérer le climat de ces contrées. On peut se demander s'il n'y aurait pas possibilité de

détourner le cours du Gulf-Stream, afin de garder pour soi la chaleur que l'Amérique prodigue si généreusement à l'Europe. Il en résulterait des changements profonds dans les climats : l'Europe disparaîtrait peut-être sous un linceul de glace, et le Labrador deviendrait *le pays où fleurit l'oranger*.

Il y a un moyen infaillible, mais d'exécution plutôt... hasardeuse...

Ce serait d'arrêter le mouvement de rotation de la Terre de l'ouest à l'est, et de la faire tourner en sens inverse !

LA MESURE DU TEMPS

LA MESURE DU TEMPS [1]

Les phénomènes astronomiques, dès la plus haute antiquité, ont toujours servi à la mesure du temps. C'est, en effet, le mouvement de rotation de la Terre qui produit le retour successif de la lumière et des ténèbres, et l'homme, réglant sur ce retour la durée de son travail et de son repos, devait tout naturellement évaluer le temps par jours et par nuits. En outre, les périodes chaudes et froides qui se succèdent, les conditions météorologiques variables qui se reproduisent à des intervalles à peu près réguliers, les saisons, en un mot, devaient fixer approximativement la longueur de l'année, et l'on sait que ces phénomènes ont pour cause le mouvement annuel de translation de la Terre autour du Soleil.

Le jour et l'année, voilà donc les deux unités naturelles de la mesure du temps.

---

(1) *La Nouvelle-France*, mai 1915, décembre 1915 et mai 1916.

Mais il y a plusieurs espèces de jours, comme il y a aussi plusieurs espèces d'années. Quelles sont ces unités de temps, employées par les astronomes ou pour les besoins de la vie civile, quelles sont, en outre, les divisions du jour, en usage chez les différents peuples et dans la suite des âges? Voilà ce que nous nous proposons de faire connaître dans ce modeste travail.

Différentes espèces de jours

La première qualité d'une unité de mesure, c'est d'être toujours égale à elle-même et invariable. Le *jour sidéral*, à cause de sa parfaite uniformité, convient le mieux à la mesure du temps ; c'est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs d'une étoile au méridien, ou, si l'on veut, le temps d'une rotation complète de la Terre sur elle-même.

Malgré sa constance absolue, le jour sidéral ne peut convenir pour les usages de la vie civile, parce qu'il commence successivement à toutes les heures du jour solaire, et qu'il est impossible, pour régler les occupations de l'homme, de ne pas compter le temps par la marche du Soleil.

Il faut donc avoir recours au *jour solaire*, c'est-à-dire l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux passages consécutifs du Soleil au même méridien, autrement dit, l'intervalle de temps qui sépare deux *midis* consécutifs.

Mais ici, nouvelle difficulté : les jours solaires sont inégaux en durée, ce qu'on peut constater facilement avec une horloge ordinaire.

A quoi tient cette inégalité ? En premier lieu, à la non-uniformité du mouvement du Soleil, conformément au *principe des aires*, et, en second lieu, à la route oblique de cet astre par rapport au plan de l'équateur.

Le jour solaire *vrai* est donc impropre à la mesure du temps. Et cependant, comme nous l'avons déjà dit, il est impossible, pour les usages de la vie civile, de ne pas mesurer le temps d'après le mouvement du Soleil.

C'est pour cela que les astronomes ont imaginé le *jour solaire moyen* et le *temps moyen*. Ce n'est plus le Soleil vrai qui fixe les limites du jour par ses passages successifs au méridien ; ce soin est laissé à un soleil fictif, appelé *soleil moyen*, qui parcourrait l'équateur, d'un mouvement uniforme,

dans le même temps pris par le Soleil vrai pour parcourir l'écliptique. Il en résulte des jours toujours égaux entre eux, nommés *jours moyens*, et dont la longueur est une moyenne entre les jours solaires variables de l'année.

Sauf quatre fois par année, le temps vrai et le temps moyen ne coïncident jamais ; la différence entre ces deux temps, à un même instant, a été appelée *équation du temps* ; elle est négative ou positive suivant que le Soleil vrai passe au méridien avant ou après le soleil moyen, et sa variation, faible d'un jour à l'autre, est sensiblement la même pour les différentes années.

Bien que l'inégalité du mouvement du Soleil et l'équation du temps soient connues depuis longtemps, puisque Ptolémée parle de cette dernière dans son *Almageste*, ce ne fut qu'en 1792, en Angleterre, et en 1816, à Paris, que se fit la substitution du temps moyen au temps vrai. La faible différence entre ces deux temps, — sa plus grande valeur ne dépasse guère 16 minutes, — avait toujours passé comme inaperçue jusqu'à la fin de XVIIIe siècle.

L'on voit, par ce qui précède, qu'il est *midi vrai* lorsque le Soleil vrai passe au méridien, et qu'il est *midi moyen* quand le soleil moyen passe au même méridien.

Le midi vrai seul sépare la journée, c'est-à-dire l'intervalle qu'il y a entre le lever et le coucher du Soleil, en deux parties égales. Si l'on fait finir le matin et commencer l'après-midi à midi moyen, le jour paraît plus long ou plus court l'après-midi que le matin, selon que l'équation du temps est positive ou négative ; vers le 2 novembre, la différence entre ces deux moitiés de journée atteint 33 minutes.

Origine du jour

Le jour est comme la circonférence : il n'y a rien qui en marque nettement l'origine et l'on peut en placer le début, comme cela a eu lieu chez les différents peuples, en un moment quelconque de sa durée. C'est ainsi que l'on fit commencer le jour soit au lever soit au coucher du Soleil.

C'est les Babyloniens, d'après Pline et les auteurs anciens, l'origine du jour était placée au

lever du Soleil, tandis que les Égyptiens,— la plupart des documents en font foi, — comptaient à partir de la *pointe de jour*.

Il n'en fut pas toujours de même chez les Grecs : le jour commençait le matin dans les temps primitifs, et au coucher du Soleil ou à la nuit close, entre l'époque homérique et l'époque hellénistique. Les Numides, les Gaulois, les Germains,— les Juifs et les Musulmans encore à l'heure actuelle,— suivaient la même coutume. Les chrétiens imitèrent les Juifs pendant quelque temps et le calendrier ecclésiastique a conservé cet usage jusqu'à nos jours.

Chez les Romains, la coutume populaire était de placer l'origine du jour au matin, tandis que les dates changeaient à minuit pour les usages sacerdotaux et juridiques.

Il était tout naturel, pour les peuples primitifs chez qui les connaissances précises des phénomènes astronomiques étaient peu développées, de placer l'origine du jour aux instants du lever ou du coucher du Soleil, parce que ces instants marquent le passage du repos de la nuit à la reprise des travaux journaliers, ou inversement.

Mais les astronomes ne pouvaient se contenter d'une telle imprécision, puisque, comme chacun le sait, les heures du lever et du coucher du Soleil, pour un même lieu, subissent des variations considérables suivant l'époque de l'année. Aussi, suivant en cela l'exemple de Ptolémée, ont-ils choisi, pour l'origine du jour, l'instant du passage supérieur du Soleil au méridien, c'est-à-dire le *midi* vrai, jusqu'à l'époque où, comme nous l'avons déjà dit, ils lui substituèrent le midi moyen.

C'est à midi moyen que se fait le changement de date dans les éphémérides astronomiques. Ce changement de date au milieu de la journée aurait sans doute présenté de graves inconvénients pour les actes juridiques et les faits historiques ; il était plus logique de placer l'origine du jour à minuit, au moment où l'activité humaine est pour ainsi dire suspendue. C'est pour cette raison que, partout chez les modernes, le jour civil commence à minuit, au passage inférieur du Soleil au méridien, douze heures avant le jour astronomique.

Pourquoi, se demandera-t-on, cette différence entre l'origine du jour civil et celle du jour astronomique ?

On s'est préoccupé depuis longtemps d'unifier ces deux jours et de faire commencer le jour astronomique à minuit comme le jour civil.

Une proposition de Laplace, en date du 24 février 1804, d'unifier l'heure civile et l'heure astronomique, fut adoptée par le Bureau des Longitudes de Paris, bien qu'elle ne fût jamais mise à exécution, par 7 voix contre 5.

Laplace, toutefois, fut fidèle à sa proposition et adopta le temps civil dans sa *Mécanique céleste* et dans le calcul de ses Tables ; son exemple fut suivi par les autres constructeurs de Tables, jusqu'à Le Verrier, qui reprit le temps astronomique.

En 1884, la Conférence internationale de Washington adopta la résolution suivante :

" La Conférence exprime l'espoir qu'aussitôt qu'il sera possible de le faire, les jours astronomiques et les jours marins seront partout réglés de façon à commencer à minuit."

Au Congrès astronomique de Genève, en 1885, la résolution de la Conférence de Washington,

longuement discutée, attaquée par l'astronome anglais Newcomb et défendu par l'astronome russe Struve, fut vivement critiquée par la grande majorité des astronomes présents.

Le Bureau des Longitudes, après la discussion du Congrès de Genève, n'osa prendre aucune décision, bien que, sous l'influence de Laplace, il calculât autrefois les Tables des planètes et de la Lune pour minuit moyen de Paris.

Les astronomes de l'Observatoire de Greenwich, depuis 1885, tout en conservant le temps astronomique pour les observations purement astronomiques et pour le *Nautical Almanach*, font usage du temps civil pour les observations spectroscopiques, photographiques, magnétiques et météorologiques.

La question fut de nouveau mise à l'étude lorsque, en 1893, une commission mixte, nommée par l'Institut canadien et la Société astronomique de Toronto, priait les astronomes de toutes les nations, dans une circulaire datée du 21 avril. de donner leur avis sur la question suivante :

" Est-il désirable, en considérant tous les intérêts, qu'à partir du 1er janvier 1901, le jour astronomique commence partout à minuit moyen ? "

Les réponses furent peu nombreuses, surtout chez les astronomes français ; il y eut 108 *oui* et 63 *non*. Les peuples les plus favorables au projet furent les Russes, les Autrichiens, les Anglais, les Américains, les Italiens et les Français, tandis que les Allemands étaient en majorité hostiles.

C'est à propos de ce plébiscite que le Bureau des Longitudes de Paris fut officiellement consulté par le ministre de l'Instruction publique, à la demande du ministre des Affaires étrangères.

Le Bureau publia alors un rapport rédigé par H. Poincaré, dans lequel l'illustre savant, après un aperçu historique de la question et un exposé des arguments pour et contre la réforme, conclut à la nécessité d'une action commune et simultanée de toutes les grandes éphémérides, avant que le Bureau prenne une décision définitive.

Il ne manque pas de raisons qui puissent être invoquées contre la réforme.

Pour les astronomes qui observent surtout les étoiles, un changement de date au milieu d'une

nuit d'observations serait certainement incommode et pourrait donner lieu à des erreurs difficiles à corriger.

Il y aurait, de plus, une discontinuité de 12 heures dans l'évaluation du temps, et les calculateurs devraient corriger toutes les observations des deux derniers siècles, pour les ramener à la nouvelle manière de compter.

Par contre, les marins, qui observent surtout le Soleil, devraient se montrer favorables à la réforme, ce qui leur permettrait d'éviter l'emploi d'une double date, celle des observations et celle du journal de bord.

La réforme désirée ne sera pas complète tant que l'on ne comptera pas le jour civil de la même manière que le jour astronomique, c'est-à-dire de 0 à 24, au lieu de le diviser en deux périodes de 12 heures. On emploie déjà cette manière de compter en Italie et pour les horaires de certaines compagnies de chemins de fer.

Il est certain que l'unification proposée et désirée par la majorité des astronomes ferait disparaître les complications résultant de l'emploi des deux jours civil et astronomique suivant la

nature des observations, comme cela a lieu dans le *Nautical Almanach*, la *Connaissance des Temps* et l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*. Mais elle ne peut être utile, suivant l'avis des Lords de l'Amirauté anglaise, que si elle est adoptée simultanément par toutes les grandes éphémérides. On s'imagine facilement la confusion inextricable, plus inadmissible que la situation actuelle, qui s'en suivrait si les calculateurs étaient obligés de faire des corrections pour se servir concurremment des éphémérides françaises, anglaises, allemandes et américaines.

C'est pourquoi le Bureau des Longitudes a adopté la résolution suivante :

" Le Bureau des Longitudes est favorable, en principe, à la réforme proposée par l'Institut canadien pour le changement d'origine du jour astronomique.

Le Bureau estime que cette réforme, comme l'ont fait observer les Lords de l'Amirauté, ne peut avoir d'efficacité que si une entente a lieu entre les gouvernements publiant les principales éphémérides.

Enfin, considérant que l'unification ne sera vraiment complète que lorsque l'heure civile, à l'exemple de ce qui se fait

en Italie, sera comptée de 0 à 24 heures, le Bureau émet le vœu que cette dernière réforme soit réalisée le plus tôt possible ".

En résumé, la majorité des astronomes et des gouvernements désirent la réforme, mais personne ne veut faire les premiers pas.

Les divisions du jour

Il serait impossible de mesurer le temps avec quelque précision si le jour solaire moyen, la seule véritable mesure de la durée tant pour les astronomes que pour les besoins de la vie civile, n'était pas divisé en parties plus ou moins nombreuses et égales entre elles : ce sont ces intervalles de temps que l'on appelle des *heures*. Le jour astronomique, qui va d'un midi à l'autre, est divisé en 24 heures, chaque heure en 60 minutes et chaque minute en 60 secondes. Le jour civil commence à minuit, 12 heures plus tôt que le jour astronomique, et se compte de 0 h. à 12 h. du matin, et de 0 h. à 12 h. du soir.

Le mot *heure* n'a pas toujours eu le sens précis qu'il a aujourd'hui ; même au temps relativement récent de Platon et de Xénophon, il signifiait

vaguement certaines phases du jour ou de l'année. Ce n'est que vers l'an 350 avant Jésus-Christ qu'il apparut avec le sens actuel. Grâce à l'influence des astronomes, il devint rapidement populaire, surtout au temps d'Hipparque, vers l'an 140 avant J.-C.

Le jour et la nuit, c'est-à-dire les périodes d'éclairement et d'obscurité, constituaient, chez les peuples primitifs, les seules divisions du jour solaire ; les progrès de la civilisation, ainsi que la multiplicité et la diversité des occupations, imposèrent peu à peu des divisions plus nombreuses.

C'est ce qui arriva chez les Hébreux. A l'origine, on ne distingua que le jour et la nuit ; plus tard, d'après plusieurs passages de la Genèse et du livre de Job, on trouve mentionnés ici et là : l'*aurore* ou crépuscule du matin ; le *matin*, c'est-à-dire le moment du lever du Soleil ; la *chaleur du jour*, ce qui correspond à nos 9 heures du matin; le *midi* ; l'*heure du vent*, allusion au vent qui souffle un peu avant le coucher du Soleil ; le *soir*, intervalle de temps qui s'écoule depuis le coucher du Soleil jusqu'aux ténèbres de la nuit.

La nuit, à son tour, comprenait trois divisions assez vaguement déterminées, et appelées *gardes* ou *veilles*, dont l'origine venait vraisemblablement des veilles des Lévites dans le temple.

On voit par certains passages des livres de Jérémie, des Juges et de l'Exode que la première partie de la nuit, c'est-à-dire l'intervalle qui sépare le coucher du Soleil de minuit, s'appelait le *commencement des veilles* ; la deuxième partie, la *veille de minuit*, durait de minuit jusqu'au chant du coq, et, enfin, le temps qui s'écoule depuis le chant du coq jusqu'au lever du Soleil constituait la *veille du matin*.

Les divisions du jour en usage chez les Grecs du temps d'Homère n'étaient pas plus nombreuses ni plus précises que celles employées par les Hébreux ; Homère ne fait mention que de l'*aurore*, du milieu du jour ou *midi* et du *crépuscule*. Certains moments de la journée étaient aussi indiqués par les occupations journalières de l'homme : on disait, par exemple, l'heure du repas.

Quant à la nuit, les Grecs distinguaient le *soir* de la nuit proprement dite, et celle-ci était partagée sans aucune précision par la position de certaines constellations.

Mais, dans la suite, apparaissent des divisions plus nombreuses, et Hérodote parle de la *pointe du jour*, du *premier chant du coq*, etc.; l'invention des clepsydres, ou horloges à eau, permettait, d'un autre côté, de préciser les quatre divisions de la nuit, les *gardes* dans le service des camps.

Chez les Romains comme chez les Grecs, les divisions du jour et de la nuit subirent diverses modifications suivant les époques et les progrès de la civilisation.

Au temps de Romulus, il n'est question que du lever et du coucher du Soleil.

Un siècle avant l'ère chrétienne, du temps de Varron, le jour solaire était divisé en sept parties, à savoir : *mane*, *dies*, *meridies*, *suprema*, *vesper*, *nox* et *intempestas*.

La première partie de la nuit, suivant Tite-Live, comprenait trois divisions principales : *primæ tenebræ*, le *concubium*, l'heure du coucher, puis l'*intempestiva nox* ou *noctis silentium*. Dans

la deuxième moitié à partir de minuit, on distinguait le *gallicium*, le moment où les coqs commencent à chanter, le *conticinium*, lorsqu'ils cessent de chanter, et le *diluculum*.

Un autre usage, qui prit son origine dans la vie des camps, s'introduisit plus tard chez les Romains : ce fut de partager la nuit en quatre *veilles* ou *vigilia*, et le jour en quatre parties appelées *mane*, *ad medium*, *meridie* et *suprema*.

Enfin, dès le commencement de l'ère chrétienne, les Romains, et plusieurs autres peuples, les Juifs en particulier, séparaient l'intervalle du lever au coucher du Soleil en douze heures qu'ils groupaient ensuite en quatre *trihories* de 3 heures chacune : on les appelait *prime*, *tierce*, *sexte* et *none*. L'on sait que cette manière de compter le temps est encore en usage dans l'Église pour la récitation de l'office divin.

Nous avons dit plus haut que le mot *heure* n'est apparu, chez les Grecs, avec le sens que nous lui donnons maintenant, que vers l'an 350 avant J.-C. Pour tous les autres peuples, la division du jour et de la nuit en douze heures, faisant suite aux subdivisions si vagues que nous venons de noter.

semble avoir été la conséquence de l'invention des instruments horaires, c'est-à-dire du gnomon, des cadrans solaires et des clepsydres.

Le gnomon, espèce de cadran solaire à style vertical, est le premier appareil horaire dont il soit fait mention dans l'histoire ; connu des Chinois 24 siècles avant notre ère, il fut probablement introduit en Grèce par Anaximandre (610 à 547 avant J.-C.), et les Grecs, d'après Hérodote, le reçurent des Babyloniens. Bien que le gnomon puisse indiquer le temps par la longueur et la direction de l'ombre portée par le style, il n'en constituait pas moins un instrument fort incommode, parce que cette longueur et cette direction de l'ombre ne sont pas les mêmes, pour un même lieu, suivant l'époque de l'année.

On réalisa un réel progrès avec les cadrans solaires, dont le style est dirigé suivant l'axe du monde et dont la construction, d'abord assez rudimentaire, devint très perfectionnée.

Les gnomons et les cadrans solaires n'étaient utilisables que pendant le jour et par ciel serein ; les horloges à eau ou clepsydres, connues des

Égyptiens et des Chinois dès l'antiquité la plus reculée, servaient à marquer le temps pendant la nuit, ou pendant le jour par ciel couvert.

C'est par l'emploi de ces instruments que s'introduisit l'usage de diviser le jour, c'est-à-dire la période de lumière qui s'écoule entre le lever et le coucher du Soleil, et la période d'obscurité, depuis le coucher jusqu'au lever de l'astre radieux, en douze heures égales entre elles.

Mais ces heures ne devaient pas avoir la même durée d'un jour à l'autre, puisque, comme on le sait, la longueur relative des jours et des nuits varie suivant l'époque de l'année, pour un même lieu et suivant la latitude ou la position géographique, pour une même date ; aux équinoxes seuls le jour est égal à la nuit pour toute la Terre, et les heures ont partout même longueur, celle de nos heures actuelles. Aussi a-t-on appelé *heures temporaires* les heures de durée variable suivant le lieu et l'époque de l'année. Les autres s'appelaient *heures équinoxiales*, et elles étaient les seules employées par les astronomes ; on faisait aussi

la réduction des heures temporaires en heures équinoxiales, lorsqu'on voulait mesurer le temps avec précision.

Chez les Romains, avant l'usage des cadrans solaires, les divisions du jour étaient très vaguement déterminées ; c'est ainsi que midi était annoncé par l'huissier des consuls, lorsqu'il voyait le Soleil entre les *Rostres* et la *Græcostasis*. Comme chez les Grecs, on adopta, bien qu'avec lenteur, la division du jour en heures, de même que l'on employa longtemps les heures temporaires ; suivant la saison, il y avait l'*hora brumalis* et l'*hora æstiva*. Cette manière de supputer le temps persistait encore au deuxième siècle de l'ère chrétienne, sous les Antonins, puisque l'on lit que Galien mesurait les accès de fièvre en heures équinoxiales.

Les heures temporaires, de durée inégale d'un jour à l'autre, et, par suite, fort incommodes, étaient encore en usage au XVe siècle, même longtemps après l'invention des horloges à poids ; au lieu de les abandonner pour se servir exclusivement des heures égales ou équinoxiales, on préférait plutôt modifier chaque matin et chaque soir la longueur du pendule des horloges, afin de leur faire

indiquer les douze divisions du jour et de la nuit, de longueurs variables suivant l'époque de l'année. Tant il est vrai qu'il est difficile de rompre avec une longue habitude, même lorsqu'elle présente de nombreux inconvénients.

L'HEURE LOCALE, LES HEURES NATIONALES ET L'HEURE UNIVERSELLE

Une fois que la division du jour solaire en 24 heures eût été adoptée par tous les pays civilisés, il a fallu s'occuper de la solution de divers problèmes très importants qui se posent nécessairement par le fait de la forme sphérique de la Terre et de son mouvement de rotation.

Il est évident, en effet, que le Soleil, dans l'intervalle de 24 heures, passe successivement aux méridiens des lieux situés sur un même parallèle, et que, pour ces mêmes lieux, au même instant physique, les heures varient depuis 0 jusqu'à 24. Lorsqu'il est midi à Greenwich, il est minuit pour les localités dont la longitude est de 180°, et, entre ces deux demi-méridiens, il y a avance ou retard de 1 h. pour une différence de 15° en longitude, suivant que le lieu est à l'est ou à l'ouest de

Greenwich. Il y a donc, pour chaque lieu, une *heure locale*, dont il ne faut pas s'écarter, du moins d'une manière trop sensible, sans mettre toute notre vie en désaccord avec le mouvement du Soleil.

Il est vrai que l'heure locale varie peu d'un lieu à un autre si ces lieux sont assez rapprochés, et cette différence n'était guère constatée avant la construction des chemins de fer, alors que, par suite de la lenteur des voyages, elle pouvait être attribuée à l'irrégularité des horloges. Mais la rapidité des déplacements a rendu indispensable l'adoption de la même heure pour un même pays, et c'est là l'origine des *heures nationales*. En Angleterre et en Écosse, l'heure du méridien de Greenwich devint légale en 1848, et, en France, le projet du gouvernement ainsi libellé : *l'heure légale en France et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris*, devint loi le 14 mars 1891.

Pour les pays de petite et de moyenne étendue, les heures locales diffèrent peu de l'heure nationale. Le plus grand écart ne dépasse pas une demi-heure ; il est, pour la France, de 20 minutes à Nice et de 27 minutes à Brest.

La différence est de toute autre nature pour les pays très étendus en longitude, par exemple pour la Russie avec la Sibérie, les États-Unis et le Canada. C'est ainsi que, en hiver, lorsqu'il est midi à Halifax, le Soleil se lève à peine à Vancouver. Il faut ajouter aussi de graves inconvénients qui résultent de la proximité de plusieurs États dans un voisinage restreint, comme c'était le cas pour les cinq pays qui entourent le lac de Constance : la Suisse, le grand-duché de Bade, le Wurtemberg, la Bavière et l'Autriche. Il y avait cinq heures officielles sur les bords du lac, ce qui devait amener, pour les voyageurs en ces pays, une complication et une confusion profondes.

Les heures nationales étaient donc insuffisantes, et il fallait trouver mieux.

Le Congrès géographique international de Vénise en 1881, la Conférence géodésique de Rome en 1883 et la Conférence internationale de Washington en 1884 étudièrent tour à tour le projet d'une *heure universelle*. La Conférence de Washington, en particulier, où vingt-cinq États étaient représentés, proposa " l'adoption d'une heure " universelle pour tous les besoins pour lesquels

" elle peut être trouvée convenable ; cette heure
" ne devra pas empêcher l'usage de l'heure locale
" ou d'une autre heure normale, qui paraîtrait
" désirable."

Il est évident que pour les besoins de la vie courante, laquelle doit être réglée sur le mouvement du Soleil, l'emploi des heures locales est indispensable. L'heure universelle, malgré les avantages de l'unification, ne pouvait convenir que pour les relations internationales et pour les postes et les télégraphes ; elle supposait aussi l'adoption d'un méridien initial unique. Si tout le monde était d'accord sur ce sujet, il n'en était pas de même sur le choix de ce méridien d'origine, question grosse de rivalités nationales.

L'on sait que les longitudes se comptent à partir d'un premier méridien, choisi arbitrairement, et, bien qu'il ait toujours paru désirable, dans tous les pays, de rapporter les mesures à un méridien unique, l'on a employé, jusqu'à ces dernières années, plusieurs premiers méridiens, suivant les nationalités et les intérêts politiques.

L'on peut citer, outre le méridien de Rhodes, figuré sur la carte du monde par Dicéarque, dis-

ciple d'Aristote, et le premier dont l'histoire fasse mention, les premiers méridiens de Gibraltar, du Cap-Vert, et de l'île de Fer, dans les îles Canaries, que Richelieu fit choisir au XVIIe siècle. Ce dernier méridien fut proposé de nouveau au second Congrès international des Sciences géographiques, tenu à Paris en 1875 ; mais, comme il était défini comme étant à 20° de longitude à l'ouest de Paris, on proposait par là-même le méridien de Paris.

Toutefois, le méridien de Greenwich trouva de nombreux défenseurs, et il en fut de même à Vénise, en 1881, et à Rome, en 1883. En réalité, la lutte se fit uniquement entre ces deux méridiens, et les autres projets n'eurent pas d'écho, même celui de l'Académie de Bologne qui aurait eu l'originalité de donner, par le choix du méridien de Jérusalem, la même origine au *jour* qu'à l'*ère*.

Il y avait d'excellentes raisons à invoquer en faveur des deux méridiens en présence. Pendant un siècle, la géodésie française fut tout à fait prépondérante, et l'on peut citer de nombreuses mesures de longitudes, au Danemark, à Cayenne, au Sénégal, aux Antilles, au Cap, en Chine,

de même que les mesures célèbres de la Terre par Picard, effectuées, sous les auspices de l'Académie des Sciences, sur le méridien de Paris.

D'un autre côté, par suite du développement de la marine anglaise, le méridien de Greenwich était employé, plus tard, par les neuf-dixièmes des marins du monde entier.

Quoi qu'il en soit, la conférence de Washington, en 1884, après la conférence de Rome de 1883, adopta par 22 voix contre 1 (Saint-Domingue) et deux abstentions (Brésil et France), le méridien de Greenwich.

Les fuseaux horaires

Pour éviter, d'une part, les inconvénients de l'heure locale, qui suppose des changements continuels d'heure dans les voyages, à cause, d'autre part, de l'incommodité manifeste de l'heure universelle, un certain nombre d'États, pour les besoins de la vie civile, pour les chemins de fer et les lignes télégraphiques, ont adhéré au système des *fuseaux horaires*, qui est une sorte de compromis entre ces deux heures.

Par le système des fuseaux horaires, la surface de la Terre est divisée en 24 fuseaux de 15° d'amplitude ; l'origine est le méridien de Greenwich que l'on fait passer par le milieu du premier fuseau, lequel s'étend, par suite, à 7° 30' (30 minutes, en temps) de longitude des deux côtés de ce méridien. On est convenu que l'heure du méridien central d'un fuseau sera la même dans toute l'étendue de ce fuseau.

Tous les lieux, situés dans le fuseau d'origine, marquent, au même instant, l'heure temps moyen de Greenwich, ou l'heure de l'*Europe occidentale*. Il ne peut y avoir plus de 30 minutes de différence entre l'heure locale d'un endroit et l'heure *normale* du fuseau dans lequel il se trouve.

Dans le fuseau suivant, en allant vers l'est, on marque l'heure de l'*Europe centrale* qui avance exactement de 1 h. sur l'heure de Greenwich. Puis vient le 3e fuseau, en avance de 2 h. sur l'heure de Greenwich, où l'on a l'heure de l'*Europe orientale*, et ainsi de suite jusqu'au 12e fuseau, en avance de 12 heures sur celle du premier.

Vers l'ouest, l'heure marquée dans chacun des fuseaux successifs retarde de 1 h., 2 h., 3 h.,... 12 h. sur l'heure de Greenwich.

Au Canada, qui s'étend du 4e au 9e fuseau, l'heure change cinq fois d'un océan à l'autre.

Voici comment les heures, en retard sur celle de Greenwich, sont distribuées dans notre pays :

4 h.: *Atlantic Standard Time.*— Provinces maritimes.

5 h.: *Eastern Standard Time.*—Labrador occidental, province de Québec, Ontario jusqu'au 82° 30' ouest.

6 h.: *Central Standard Time.*—Manitoba, Keewatin.

7 h.: *Mountain Standard Time.* — Saskatchewan, Alberta.

8 h.: *Pacific Standard Time.*— Colombie britannique.

9 h.: Yukon.

Les avantages de ce système sont indiscutables, et il fit cesser le chaos où se trouvaient, avant son adoption, les chemins de fer américains qui étaient réglés sur soixante-quinze heures locales différentes.

Ajoutons encore que, par ce système, les horloges, dans tous les fuseaux, marquent la même minute et la même seconde, et que l'heure, d'un fuseau à l'autre, varie toujours d'un nombre entier.

C'est pour ces raisons, et d'autres encore, que presque tous les États l'ont adopté, y compris la France depuis 1911.

Cette dernière devait sans doute avoir quelque répugnance à adhérer au système des fuseaux horaires, parce qu'il comportait, comme conséquence nécessaire, l'abandon du méridien de Paris, et qu'il obligeait les hydrographes à modifier toutes les cartes marines.

Toutefois, pour entrer dans le mouvement qui se généralisait de plus en plus chez les pays étrangers, le gouvernement fit adopter, le 8 mars 1911, la loi suivante qui semblait tout concilier sans trop blesser les susceptibilités nationales :

L'heure légale en France et en Algérie est l'heure, temps moyen de Paris, retardée de 9 minutes et 21 secondes.

C'était un moyen assez original d'accepter le méridien de Greenwich sans sacrifier explicitement celui de Paris.

Le changement d'heure eut lieu dans la nuit du 10 au 11 mars 1911.

L'année et le calendrier

Nous avons dit précédemment que le double mouvement de la Terre servait à déterminer les deux principales unités de la mesure du temps, le jour, pour les courtes périodes, et l'année, pour les périodes plus longues. Il nous reste maintenant à parler de l'année, de ses différentes espèces et de ses divisions.

L'on sait que la Terre, tout en tournant sur elle-même en 24 heures, exécute aussi un mouvement de révolution autour du Soleil dans un plan, appelé *écliptique*, qui ne coïncide pas avec celui de son équateur, mais qui fait avec ce dernier un angle de 23° 26'. En d'autres termes, l'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire sur le plan de son orbite ; pendant toute la durée de la révolution, cet axe conserve la même incli-

naison par rapport au plan de l'écliptique et se dirige constamment, sauf de légères oscillations, vers le même point du ciel.

Il en résulte des changements profonds dans la température et dans les longueurs relatives des jours et des nuits, suivant les positions successivement occupées par la Terre sur son orbite. Tantôt l'hémisphère nord est inondé de lumière et de chaleur, tantôt, grâce à la grande obliquité des rayons solaires et à la faible durée du jour, le sol se refroidit et se couvre de neige et de glace, pendant que l'inverse se produit pour l'hémisphère austral.

Les variations extraordinaires de la température que l'on constate dans nos climats, variations qui ont tant d'influence sur l'aspect et les productions du sol, sur la vie sociale, industrielle et commerciale de l'homme, en un mot, les *saisons*, ne sont dues qu'à une seule cause, extrêmement simple, l'obliquité de l'écliptique sur le plan de l'équateur terrestre.

De plus, ces variations sont *périodiques*, c'est-à-dire se produisent toujours dans le même ordre, et correspondent à peu près aux mêmes positions

relatives de la Terre et du Soleil. C'est cette période, si variée dans ses différentes parties et qui se renouvelle sans cesse, toujours sensiblement égale à elle-même, après le même intervalle de temps, que l'on appelle *l'année.*

Suivant les points qui servent d'origine, on distingue deux espèces d'années.

L'année sidérale est l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs du Soleil (mouvement apparent) *à la même étoile* : c'est la durée d'une révolution complète de la Terre autour du Soleil et sa valeur est, en temps moyen, de 365 j. 6h. 9m. 9s.

L'on sait que, deux fois par année, l'intersection du plan de l'écliptique avec le plan de l'équateur passe par le centre du Soleil : c'est l'instant des *équinoxes* du printemps et de l'automne, où, pour toute la Terre, les jours sont égaux aux nuits. Si l'on prend comme origine de l'année l'équinoxe du printemps, on appelle *année tropique* ou *astronomique*, l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux retours consécutifs du Soleil à l'équinoxe du printemps. Sa valeur, en jours solaires moyens, est de 365 j. 5 h. 48 m. 45 s.

L'année tropique est plus courte que l'année sidérale, parce que la ligne des équinoxes rétrograde de 50".2 par année, de sorte que le Soleil revient à l'équinoxe du printemps avant d'avoir accompli une révolution entière.

C'est cette année qui devait nécessairement servir à la mesure du temps puisque celle-ci doit être basée sur la marche du Soleil. Toutefois, l'année astronomique offre l'inconvénient de ne pas contenir un nombre exact de jours, et c'est pour cela qu'il a fallu lui substituer l'*année civile*, composée d'un nombre exact de jours sans fraction, et qui devait coïncider le mieux possible avec l'année astronomique, de manière à établir les relations entre les divisions et subdivisions du temps civil et les phénomènes usuels qui dépendent de la marche du Soleil. Les conventions nécessaires pour arriver à ce but sont l'objet du *calendrier*.

Le calendrier

L'origine de la division de l'année en 12 mois est dans le mouvement de la Lune autour de la Terre, mouvement qui comprend à peu près 12 lunaisons ou 12 révolutions de durée égale à 29½

jours. C'est l'année lunaire, de 11 jours plus courte que l'année astronomique et avec laquelle elle ne peut coïncider.

Chez les anciens, la division en 12 parties n'a pas toujours été en usage, et, en particulier, dans le calendrier attribué à Romulus, l'année, commençant avec le mois de mars, se composait de 304 jours distribués en 10 mois de la manière suivante :

Mois	Durée	Mois	Durée
1. Martius	31 jours	6. Sextilis	30 jours
2. Aprilis	30 "	7. September	30 "
3. Maius	31 "	8. October	31 "
4. Junius	30 "	9. November	30 "
5. Quintilis	31 "	10. December	30 "

Pour que l'année commençât toujours vers l'équinoxe du printemps, il était nécessaire d'ajouter tous les ans un certain nombre de jours, afin de maintenir autant que possible l'accord avec le mouvement du Soleil.

Une première réforme fut faite par Numa suivant laquelle on adopta l année lunaire de 355

jours. Il est vrai que 12 lunaisons ne font que 354 jours, mais l'on crut devoir ajouter un jour, malgré les inconvénients qui pouvaient en résulter, parce que, d'après les idées superstitieuses des Romains, les nombres pairs passaient pour malheureux.

La nouvelle année eut 12 mois : les deux nouveaux mois furent formés avec les 51 jours, excès de l'année de Numa sur celle de Romulus, et avec un jour que l'on prit à chacun des six mois de 30 jours que l'on appelait les *mois caves*. L'un de ces mois, appelé Januarius, de 29 jours, fut placé avant Martius, et l'autre, nommé Februarius, de 28 jours, fut rejeté après December, et le commencement de l'année fut fixé à Januarius.

Les décemvirs, en l'an 450 avant J.-C., reportèrent Februarius après Januarius, et le calendrier eut la disposition suivante qui persista jusqu'à la réforme julienne :

Mois	Durée	Mois	Durée
1. Januarius	29 jours	4. Aprilis	29 jours
2. Februarius	28 "	5. Maius	31 "
3. Martius	31 "	6. Junius	29 "

Mois	Durée	Mois	Durée
7. Quintilis	31 jours	10. October	31 jours
8. Sextilis	29 "	11. November	29 "
9. September	29 "	12. December	29 "

Il est à remarquer que tous les mois, à l'exception de Februarius dédié aux dieux infernaux, ont reçu un nombre impair de jours, problablement, comme pour le nombre des jours de l'année, parce que les anciens les considéraient comme plus heureux.

La réforme de Numa était loin d'être parfaite : l'année, en effet, ne comptant que 355 jours, retardait de plus de 10 jours sur l'année solaire, et il devenait nécessaire, pour maintenir l'accord avec les phénomènes célestes, de faire, de temps en temps, des corrections indispensables. De deux ans en deux ans, on plaçait un mois *intercalaire*, appelé *merkedonius*, alternativement de 22 et 23 jours. Ce mois commençait en Februarius après la fête dite *Terminalia* et avant le jour appelé *Regifugium*, consacré à la mémoire de la fuite des rois.

Mais l'intercalation du merkedonius était elle-même insuffisante, car elle donnait 24 jours de

trop au bout de 24 ans, de sorte que de nouvelles corrections fort arbitraires devenaient nécessaires.

Le soin de régulariser le calendrier, afin de maintenir l'accord avec les mouvements du Soleil et de ne pas déranger les fêtes, presque toutes fixes, était confié aux pontifes, ce qui donnait à ces derniers un pou.oir considérable dont ils abusaient souvent, d'après l'opinion la plus commune, suivant les besoins de leur politique.

Quoi qu'il en soit, par négligence, ignorance ou autrement, le calendrier ne tarda pas de tomber dans un désordre complet ; il y avait si peu coïncidence avec les phénomènes solaires que, vers l'époque de Jules César, on en était arrivé à célébrer les fêtes de la moisson en hiver et les automnales au printemps.

Une nouvelle réforme du calendrier s'imposait et il était réservé à Jules César, aidé de l'astronome égyptien Sosigène, de l'accomplir.

Dans cette réforme, on abandonna l'année lunaire de 355 jours pour adopter l'année solaire dont la durée, d'après les calculs du temps, fut fixée à 365 ¼ jours.

Il était nécessaire que l'année fût constituée d'un nombre entier de jours sans fraction ; d'autre part, il fallait tenir compte de cette fraction d'un quart de jour, dont l'accumulation formait un jour au bout de quatre années.

Il fut donc décidé qu'il y aurait 3 années de 365 jours, appelées années *communes*, et qu'on ajouterait *un* jour tous les quatre ans. De cette façon, on prévenait l'erreur qui résultait de l'accumulation de la fraction de jour.

Il y avait donc, tous les quatre ans, une année de 366 jours que l'on appela année *bissextile*. Ce nom vient du fait que le jour que l'on ajoutait à l'année commune était placé entre le 23 et le 24 février, et que, d'après la manière de compter des Romains, il était désigné par *Ante diem bis sextum Kalendas Martias*. L'année de 366 jours fut appelée *annus bis sextus*, d'où est venu le nom d'année bissextile.

Dans le nouveau calendrier, on ne changea rien dans l'ordre des mois et l'on fit aussi commencer l'année au 1er jour de janvier ; mais l'on devait distribuer dans les différents mois l'excès de la nouvelle année sur l'ancienne, c'est-à-dire 10

jours ; on ajouta alors un jour à *Aprilis*, *Junius*, *September* et *November*, et deux jours aux mois de *Januarius*, *Sextilis* et *December*. Les mois eurent alors les nombres de jours qu'ils ont encore aujourd'hui.

Le 5e mois, *Quintilis*, fut appelé plus tard *Julius*, sur l'ordre de Marc Antoine, en l'honneur de Jules César, son prédécesseur au consulat, et le nouveau calendrier porta, depuis cette époque, le nom de *Calendrier julien*.

Une dernière modification fut faite en l'an 746 de Rome, par laquelle le mois *Sextilis* fut appelé *Augustus*, en l'honneur de César Auguste.

On remarquera que, dans l'année julienne qui commence au 1er janvier et compte 12 mois, les mois de *septembre*, *octobre*, *novembre* et *décembre* n'indiquent plus, comme dans l'année de 10 mois de Romulus et commençant au 1er mars, le rang qu'ils occupent dans le calendrier : septembre, en effet, n'est plus le 7e mois, mais le 9e ; octobre n'est plus le 8e, mais le 10e mois, etc.

On s'imagine facilement la difficulté qu'il y eut de passer de l'ancien régime au nouveau, puisque l'année romaine précédait de 67 jours son lieu

véritable. Il fallait combler cette lacune et faire disparaître cet excès. On y parvint en intercalant, entre novembre et décembre, deux mois supplémentaires, respectivement de 33 et 34 jours. D'après Suétone et Censorin, il fallait y ajouter un *merkedonius* de 23 jours qui tombait cette même année. Il en résulta une année de longueur extraordinaire, qui eut 15 mois comptant 445 jours, bien propre à jeter la plus grande confusion dans tous les esprits : on l'appela avec raison *l'année de la confusion*.

L'Église catholique, au concile de Nicée, en 325, adopta le calendrier julien ; on le désigne maintenant sous le nom de *vieux style*.

La réforme julienne constituait un grand progrès sur les années de Romulus et de Numa, mais elle avait l'inconvénient de surpasser de 11 minutes la valeur de l'année réelle. La longueur moyenne de l'année tropique est, en effet, de 365 j., 24, tandis que celle qui a servi de base au calendrier julien et fut adoptée par Sosigène, était de 365 j., 25. Le commencement de l'année civile retardait donc sans cesse sur celui de l'année solaire et l'écart était de 10 jours à la fin du XVIe siècle.

Il fallait donc une dernière réforme ; le pape Grégoire XIII, en 1582, eut la gloire de l'accomplir et de la faire accepter par presque toutes les nations chrétiennes.

Il y avait un double but à atteindre : corriger l'erreur des 10 jours accumulés depuis l'époque du concile de Nicée, et prévenir la même erreur pour l'avenir.

Grégoire XIII décida donc de supprimer 10 jours de l'année 1582 et décréta que le lendemain du jeudi 4 octobre serait le vendredi 15 octobre.

Mais comme l'intercalation d'un jour tous les quatre ans, dans le calendrier julien, produisait une différence de 3 jours environ en 400 ans, on résolut de supprimer le jour intercalaire dans trois années séculaires sur quatre. C'est ainsi que, des années séculaires 1600, 1700, 1800 et 1900, la première seule a été bissextile. On reconnaît qu'une année séculaire est bissextile lorsque, après avoir retranché les deux zéros à droite, les chiffres qui restent à gauche sont divisibles par 4.

La France est le premier pays qui adopta le nouveau calendrier que l'on appela la *réforme grégo-*

rienne ou *nouveau style.* Sur l'ordre du roi Henri III, le dimanche 9 décembre 1582 eut pour lendemain le lundi 20 décembre.

Parmi les peuples chrétiens, les Russes et les Grecs sont les seuls qui aient gardé le calendrier julien ; l'écart entre les deux *styles* est maintenant de 13 jours. Aussi, dans les relations internationales, est-on obligé de donner deux dates aux événements, ce qui est loin d'être commode et peut donner lieu à de fâcheuses confusions.

En Allemagne, la réforme grégorienne fut adoptée en 1584 ; cet exemple fut suivi par la Suisse, le Danemark et la Suède en 1600, et l'Angleterre ne se rendit qu'en 1752.

Ce n'est qu'au commencement du VIe siècle après J.-C. que les dates des événements se comptaient à partir de l'Incarnation de Notre-Seigneur, choisie comme origine de l'*ère chrétienne.* Mais l'usage prévalut de faire commencer ce qu'on a appelé l'*ère vulgaire* au 1er janvier qui suivit immédiatement la naissance de N. S. J.-C. D'après les supputations d'un prêtre scythe, Denys-le-Petit, la naissance de Notre Seigneur Jésus-Christ fut

fixée au 25 décembre de l'an 753 de Rome, ce qui place l'origine de l'ère vulgaire au 1er janvier de l'an 754 de Rome.

On admet généralement que Denys-le-Petit a commis une erreur, maintenant irréparable, de 4 ans, de sorte que toutes les dates chrétiennes devraient être augmentées de 4 années.

Les quelques détails que nous avons donnés dans ces études scientifiques font voir toute l'importance pratique des notions astronomiques. La seule observation des phénomènes célestes avait suffi aux peuples anciens pour établir une mesure fort grossière du temps ; il a fallu toute la précision des observations plus récentes pour corriger les premières erreurs et pour asseoir sur des bases solides un système de mesures qui laisse maintenant peu à désirer. L'astronomie n'est donc pas une science purement spéculative ; par les services qu'elle rend à l'homme et par l'influence qu'elle exerce sur la vie sociale, elle mérite à bon droit une place d'honneur parmi les sciences naturelles.

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LA LUNE

QUELQUES RÉFLEXIONS SUR LA LUNE (1)

La Lune, malgré ses faibles dimensions et le rôle peu important qu'elle joue dans le système planétaire, compte parmi les astres qui intéressent le plus les humains, et dont on s'occupe davantage... quelquefois trop, surtout dans certains milieux. A cela, rien d'étonnant. Satellite de la Terre, elle en est la fidèle compagne dans son mouvement annuel autour du Soleil. C'est elle qui tempère l'obscurité de nos nuits et charme délicieusement nos regards par sa douce et mystérieuse lumière ; c'est par son action que les eaux de l'océan se soulèvent deux fois par jour et que se produit, sur les rivages de la mer et dans les fleuves, le phénomène des marées...

Et, de plus, n'a-t-elle pas inspiré à maint poète des strophes émues, et n'a-t-elle pas fourni à de

(1) *La Nouvelle-France*, juillet 1917.

nombreux peintres le sujet de superbes compositions artistiques ? Bref, la Lune est un astre intéressant, il ne saurait y avoir de doute sur ce point.

Mais, avouons-le, ne lui a-t-on pas donné trop souvent plus d'importance qu'il ne faut, n'a-t-on pas exagéré quelque peu son influence sur l'atmosphère terrestre, sur les récoltes, ne l'a-t-on pas crue trop souvent coupable de nombreux méfaits dont elle est parfaitement innocente, en un mot, n'y a-t-il pas, à son sujet, beaucoup de préjugés plus ou moins justifiables ?

Je sais, en répondant à quelques-unes de ces questions, que je m'aventure sur un terrain dangereux, et que beaucoup de personnes, non pas toujours parmi les moins instruites, se montrent, sur ce sujet, absolument irréductibles.

Il faut respecter, sans doute, les opinions de tout le monde, même celles que l'on est en droit de qualifier de préjugés. Seulement, il est permis d'analyser ces opinions, et d'essayer de mettre autant que possible, pour l'honneur de la Lune, les choses au point.

*
* *

Tout le monde sait que la Lune se renouvelle tous les 29 jours et 13 heures : il y a donc, dans une année, 12 lunaisons et près de 11 jours en plus. Malgré ce surplus de 11 jours sur les 12 mois de l'année, le public reconnaît à chaque mois le droit de propriété pour une lune en particulier, et se croit obligé de désigner les diverses lunaisons d'après les noms des mois dans lesquels on les observe. On dira, par exemple, la lune de mars, la lune d'avril, la lune de mai, etc.

L'on voit tout de suite que la coïncidence des mois et des lunaisons ne peut pas être parfaite, puisqu'il y a plus de 12 lunaisons par année. Il en résulte des anomalies et des substitutions très bizarres : il y a des mois qui ont deux lunes et d'autres qui n'en ont pas ; de plus, un mois s'empare de la lune de son voisin, ou, si l'on aime mieux, les mois se prêtent aimablement leur lune ; en un mot, suivant le dicton populaire, *les lunes chevauchent*, et l'on entend dire avec le plus grand sérieux du monde : rien d'étonnant si le mois d'avril est froid, nous sommes encore dans la lune de mars !

Si l'on veut absolument,— et le peuple paraît y tenir,— donner une lune à chaque mois, il n'est pas surprenant qu'il se présente quelquefois de sérieuses difficultés. La Lune, en effet, peut devenir nouvelle soit au commencement, soit au milieu, soit à la fin des mois ; alors quel nom donner à la lunaison ? Sera-ce celui du mois dans lequel elle commence, ou celui dans lequel elle finit ?

De là des discussions sans fin et... sans aucun profit. Qu'on nous permettre de dire, au risque de soulever des tempêtes, que ces deux manières de qualifier les lunes sont tout aussi futiles, tout aussi peu fondées l'une que l'autre, et que les astronomes, ennemis des règles abstraites, se sont toujours bien gardés d'intervenir dans les discussions de ce genre.

Voyons brièvement à quels résultats étranges conduisent les deux manières de nommer les lunes.

Supposons qu'on emprunte la dénomination de la lune au mois dans lequel elle finit ; dans ce cas, il y aurait des mois qui auraient deux lunes. On appellerait, par exemple, lune de janvier celle qui finirait le premier jour de ce mois, quelques minutes après minuit, mais la lune suivante, qui

finirait avant le 30 janvier, serait également la lune de janvier, et ce mois aurait deux lunes !

D'autre part, on nommerait aussi lune de janvier celle qui finirait un peu avant le 31 de ce mois ; mais la lune suivante, à cause des 28 jours de février, ne s'achèverait qu'en mars, et février se trouverait sans lunaison !

Les conséquences ne sont pas moins bizarres, lorsqu'on nomme les lunes par les mois dans lesquels elles commencent. En l'année 1911, la Lune a renouvelé le 1er janvier ; on l'appellerait donc la lune de janvier. Mais elle s'est terminée le 30, et la lune suivante, commençant au même instant, serait également la lune de janvier, et ce dernier mois aurait eu encore deux lunes !

Ces exemples font voir combien puériles et peu raisonnables sont ces règles au sujet des noms à donner aux lunes. Elles supposent que la division de l'année en douze mois est une nécessité astronomique. Bien au contraire, les mois sont des divisions fort arbitraires de l'année. Il y en a actuellement douze ; il pourrait y en avoir plus ou moins, et, de fait, chez les Romains, il n'y en avait que dix, tandis qu'il y a toujours douze

lunaisons par année, avec un surplus de près de onze jours. S'il prenait fantaisie aux gouvernements des différents pays, appuyés par les astronomes, de diviser l'année en quinze mois, est-ce que chaque mois aurait sa lune ?

Il vaut donc mieux,— comme d'ailleurs le font les astronomes,— de ne pas chercher des coïncidences là où il n'y en a pas.

Au Canada, on a l'habitude d'appeler lune de mars celle qui détermine la fête de Pâques. Or, l'année dernière, la lune pascale a commencé le 2 avril[1]; il faut alors conclure que mars a passé sa lune à avril, conclusion qu'on pourrait qualifier de... mais n'insistons pas. Rappelons seulement que la lune qui fixe la fête de Pâques est celle qui est *pleine* le ou après le 21 mars, et qu'elle peut, comme l'année dernière, fort bien arriver en avril.

Il va sans dire que ce *chevauchement* des lunes est la cause, dans l'esprit de bien des gens, de graves perturbations météorologiques, et que la température d'un mois, pendant lequel brille la lune du mois précédent, doit nécessairement s'a-

[1] 1916.

baisser d'une façon notable. On suppose donc que chaque lune a une température propre, que la lune de janvier, par exemple, est plus froide que celle de février, que celle-ci est plus froide que celle de mars, que celle de mai, que celle de juillet, etc. Mais on oublie que la Lune ne brille pas seulement au Canada, mais que, pendant la durée d'une lunaison, elle fait le tour de la Terre et qu'elle éclaire les pays situés à nos antipodes, pays où les saisons sont à l'inverse des nôtres, où, par conséquent, le mois de janvier est le mois des chaleurs. Et alors, la même lune, qui serait froide au Canada, serait chaude au Brésil ou en Australie !

Ne voit-on pas à quelles absurdités on se heurte!

D'un bout de l'année à l'autre, l'influence climatérique de la Lune, s'il y en a une, est invariable: elle n'est ni plus froide au mois de janvier, ni plus chaude au mois de juillet qu'aux autres époques de l'année. La chaleur qu'elle déverse sur la Terre est pratiquement nulle et n'est sensible, pour une fraction très petite de degré, qu'aux instruments les plus délicats.

*
* *

Disons maintenant un mot des méfaits de la Lune. Son dossier est formidable ! De combien d'influences néfastes sur les récoltes, sur l'atmosphère, sur le système nerveux ne l'a-t-on pas accusée ! Quand elle brille au sein du firmament, en accomplissant avec sérénité et conscience sa révolution autour de la Terre, on pourrait croire qu'elle n'a d'autre souci que de nous prodiguer sa douce lumière ; erreur profonde ! Pour quelques-uns, c'est une hypocrite qui voile l'âme la plus perverse sous l'apparence d'une trompeuse bienveillance !

D'autres se contentent de lui attribuer certaines influences pour le moins singulières. On trouve, par exemple, dans un vieil ouvrage publié en 1770, la remarque suivante : " Qui ne sait, par sa propre expérience, combien plus rapidement poussent les ongles et les cheveux, quand pour les couper on choisit la lune croissante au lieu du temps du décours ? "

Qui n'a pas entendu dire par plusieurs qu'il faut choisir, pour semer telles ou telles graines, une époque déterminée du croissant ou du décours de la lunaison ? Nous pourrions citer comme exemples de préjugés populaires, pour les avoir nous-

mêmes entendu énoncer, que le tabac coupé dans le croissant *ne tient pas dans la pipe*, et que le bois de construction ne sèche jamais, *dégoutte l'eau*, à moins qu'il ne soit coupé dans la lune de Noël !

Mais il est inutile de passer en revue et d'apprécier toutes ces opinions au sujet des influences lunaires. Les unes peuvent être justifiées, les autres sont ridicules, d'autres enfin manquent de confirmation.

Disons seulement qu'il faut accepter avec prudence les observations populaires. Ceux qui ont travaillé dans les laboratoires savent avec quelle circonspection il faut procéder dans les recherches et les observations scientifiques. Le peuple, qui ne se croit pas obligé à tant de précautions, peut fort bien prendre pour une relation certaine ce qui n'est qu'une coïncidence fortuite ; de là des préjugés, des prétendues remarques qui se transmettent de père en fils et qu'il est bien difficile de faire disparaître.

Le peuple a comme l'instinct du mystérieux et se montre toujours disposé à accepter sans preuve ce qu'il ne peut expliquer. Il note surtout les coïncidences favorables à ses idées ; si les choses

ne se passent pas comme il l'avait prévu ou prédit, on bien il ne le remarque pas, ou bien, s'il s'en aperçoit, il se garde bien d'en parler. S'il est poussé au pied du mur par quelque contradicteur qui lui démontre par des faits la fausseté de ses prétentions, il sait toujours se tirer d'une position délicate par quelque habile échappatoire. Lui fera-t-on remarquer, par exemple, qu'il n'y a pas eu de *bordée de neige* le jour de la Sainte-Catherine, ou que la tempête de *Notre-Dame de mars* n'a pas eu lieu, il n'abandonnera pas pour cela ses croyances ; il se contentera de dire que la dite bordée ou la dite tempête a été retardée ! Et la prochaine chute de neige, toute naturelle à pareille saison, viendra confirmer ses assertions !

Un exemple typique de préjugé populaire se trouve dans le phénomène de la *lune rousse.*

Le célèbre astronome français Arago, dans son *Astronomie populaire*, commence très spirituellement de la manière suivante un chapitre sur la lune rousse :

" — Je suis charmé de vous voir réunis autour de moi, dit un jour Louis XVIII, aux membres composant une députation du Bureau des Longitudes qui étaient allés lui présenter la *Connaissance des Temps* et *l'Annuaire*, car vous m'expliquere-

res nettement ce que c'est que la lune rousse et son mode d'action sur les récoltes. Laplace, à qui s'adressaient plus particulièrement ces paroles, resta comme atterré ; lui qui avait tant écrit sur la Lune, n'avait en effet jamais songé à la lune rousse. Laplace consultait tous ses voisins du regard, mais ne voyant personne disposé à prendre la parole, il se détermina à répondre lui-même : "Sire, la lune rousse n'occupe aucune place dans les théories astronomiques ; nous ne sommes donc pas en mesure de satisfaire la curiosité de Votre Majesté." Le soir, pendant son jeu, le roi s'égaya beaucoup de l'embarras dans lequel il avait mis les membres de *son* Bureau des Longitudes. Laplace l'apprit et vint me demander à l'Observatoire si je pouvais l'éclairer sur cette fameuse lune rousse qui avait été le sujet d'un si désagréable contretemps. Je lui promis d'aller aux informations auprès des jardiniers du Jardin des Plantes et d'autres cultivateurs."

Qu'est-ce donc que la lune rousse ?

Les jardiniers donnent ce nom à la lune qui commence en avril et devient pleine à la fin de ce mois ou plus ordinairement dans le courant du mois de mai. Ils prétendent avoir constaté que la lumière de cette lune, lorsqu'elle brille dans un ciel sans nuages, produit un refroidissement qui a pour effet de faire geler les jeunes plantes et les bourgeons ; ceux-ci alors *roussissent* par suite de la solidification de la sève dans les vaisseaux, d'où le nom de *lune rousse* donné à la lune qu'on accuse de ces dégâts.

L'observation des jardiniers est juste, bien qu'incomplète ; seulement, on se trompe sur la cause du phénomène, et il est facile de le faire voir.

Lorsque le ciel est sans nuages et que la Lune brille, le rayonnement, qui n'est arrêté par aucun obstacle, devient très énergique, et les plantes peuvent se refroidir jusqu'à la congélation, bien que l'air qui avoisine le sol puisse rester à 5 ou 6 degrés au-dessus de zéro. Si, au contraire, le ciel est couvert, la Lune ne paraît pas, il est vrai, mais alors les nuages jouent le rôle d'une couverture de laine, et, faute de rayonnement, le sol ne se refroidit pas. Si donc les plantes roussissent quand la Lune brille, cela n'est pas dû à la lumière de la Lune, mais au fait que le ciel est serein. La Lune n'est plus que l'innocente spectatrice et non pas la cause efficiente des dégâts produits.

Il est important de noter que le refroidissement du sol a lieu aussi lorsque la Lune n'est pas encore levée, pourvu que le ciel soit serein, particularité que les cultivateurs n'ont peut-être jamais remarquée.

Cet exemple de la lune rousse montre bien comment les gens du peuple, sans s'occuper des autres facteurs qui peuvent intervenir dans la production d'un phénomène, concluent tout de suite de la présence de la Lune à l'efficacité de son action.

D'une manière générale, on peut dire que, avant d'admettre une influence quelconque, pratiquement inexplicable, de la Lune sur les plantes ou sur certains groupes de phénomènes spéciaux, il est nécessaire d'étudier et d'analyser les causes ordinaires physiques et météorologiques capables de produire les effets constatés. Si l'on n'arrive à aucun résultat, il sera toujours loisible de recourir à l'influence de la Lune et de l'accuser de tous les méfaits imaginables.

Il va sans dire que le peuple est absolument incapable d'instituer et de mener à bonne fin une pareille analyse.

LES SCIENCES PHYSIQUES FRANÇAISES
AU XIXᴱ SIÈCLE

LES SCIENCES PHYSIQUES FRANÇAISES AU XIXe SIÈCLE [1]

I

Ce n'est pas sans hésitation que j'ai accepté la flatteuse invitation de M. le Président de l'Institut canadien d'inaugurer ce soir la série des conférences sur l'histoire de la science française au XIXe siècle. J'apprécie hautement l'honneur qu'il m'a fait et je l'en remercie de tout cœur. Mais, d'autre part, je ne puis me défendre d'un certain sentiment de crainte, et, conscient de mon incompétence, je ne me dissimule pas les grandes difficultés que comporte l'exécution d'une pareille tâche.

En effet, faire l'hisoire de la science française au XIXe siècle, dans ce siècle merveilleux où prirent

---

(1) Conférences données à l'Institut canadien, les 5 et 17 décembre 1918.

naissance tant de découvertes géniales, tant de créations théoriques et pratiques, dans ce siècle qui a assisté au développement des chemins de fer, de la navigation à la vapeur, à l'invention du téléphone, du télégraphe avec et sans fil, dans ce siècle qui a vu les prodigieuses applications de l'électricité au chauffage, à l'éclairage, au transport de la force motrice à distance, dans ce siècle enfin qui a produit le moteur à explosion, le sous-marin, la photographie, la radiographie, pour ne parler que de quelques inventions, n'est-ce pas, Mesdames et Messieurs, une intreprise qui demanderait de longs volumes, n'est-ce pas un sujet difficile à faire entrer dans le cadre restreint de deux modestes conférences ?

Aussi, il ne peut être question de faire œuvre complète, il faut se limiter aux grandes découvertes, aux grandes initiations, il faut reléguer dans l'ombre des noms de haute valeur, mais relativement secondaires, pour rester dans les sphères élevées où planent les gloires de premier ordre et les génies créateurs. Malgré ces restrictions indispensables, le champ d'action de l'historien est encore immense, la tâche est encore colossale, et

j'aurais été tenté de m'y soustraire si, soutenu par la grande bienveillance du public québecquois, je n'avais pas considéré comme un devoir de contribuer pour ma faible part à la glorification de la science française.

Et d'ailleurs, Mesdames et Messieurs, quel moment pour parler de la France !... Quand, après quatre années de luttes terribles et angoissantes, elle a conquis l'admiration du monde entier, quand le succès le plus éclatant de l'histoire vient couronner ses efforts, au moment où les drapeaux flottent encore au vent de la victoire et les chants d'actions de grâce montent vers le ciel, fut-il une circonstance plus propice pour démontrer qu'elle n'est pas moins glorieuse par les travaux de ses savants que par l'héroïsme de ses soldats et le génie des généraux ? Et n'est-ce pas un grand bonheur pour moi, pendant ces jours d'allégresse nationale, de faire voir qu'elle n'est pas seulement le champion du droit et de la civilisation sur les champs de bataille, le principal foyer des missions catholiques qui se répandent dans tout l'univers, mais encore qu'elle est la grande semeuse et la grande initiatrice des vérités scientifiques ? Et

voilà pourquoi, Mesdames et Messieurs, il doit vous être agréable que l'on célèbre, du haut de cette chaire de l'Institut canadien, les gloires de la science française.

*
* *

Et, tout d'abord, que faut-il entendre par science française ? S'il est vrai que l'âme d'une contrée, que le génie d'une race, que l'esprit d'une nation se réflètent dans les œuvres d'art qu'elle produit, comme on le constate pour la musique, la peinture, la poésie, en est-il ainsi de la science ? En d'autres termes, la science est-elle nationale, et peut-on parler de science française, de science allemande, de science italienne ou anglaise ?

Assurément non.

La science est universelle et impersonnelle ; elle n'est d'aucune époque ni d'acun pays, elle n'est ni ancienne ni modrene, pas plus qu'elle est française ou anglaise, et cela, parce que son objet, ses méthodes sont immuables.

L'objet de la science, c'est la connaissance de la vérité, et celle-ci, une et universelle, ne change pas

d'un pays à l'autre. Les faits d'ordre scientifique sont les mêmes partout et peuvent être découverts par n'importe qui et n'importe où. Les phénomènes de la nature, d'autre part, nous sont révélés par l'observation et l'expérience, et le sage emploi de l'induction et du raisonnement déductif conduit nécessairement aux mêmes faits et aux mêmes lois.

Ajoutons à cela qu'une découverte est rarement le fruit d'une seule intelligence travaillant dans un seul pays. Chaque savant doit tenir compte et profite de ce qui a été trouvé et écrit avant lui et par ses contemporains. Chacun apporte une pierre à l'édifice commun et lègue à ses successeurs les connaissances que ceux-ci développeront à leur tour.

La science est donc une œuvre collective, et les découvertes sont le résultat de cette collaboration universelle qui tend vers un même but, à savoir, la connaissance de la vérité. La science n'est pas nationale, ni moderne plutôt qu'ancienne, parce que la vérité est indépendante des lieux et des temps.

Mais alors, encore une fois, que faut-il entendre par science française ?

Si les vérités d'ordre scientifique sont les mêmes partout, la manière dont les faits sont étudiés, sont coordonnés entre eux, sont exprimés et exposés, peut varier avec les individus et avec les nations.

La science ne consiste pas dans la connaissance pure et simple de faits particuliers, de même qu'un amas de pierres ne constitue pas un édifice. Une découverte n'est pas caractérisée par la connaissance d'un phénomène nouveau, mais, dit Claude Bernard : " C'est l'idée qui se rattache au fait découvert qui constitue en réalité la découverte."

Il ne suffit pas, pour procéder scientifiquement, d'observer attentivement les phénomènes naturels, ou d'en provoquer de nouveaux par l'expérience, mais il importe surtout à la vraie science de coordonner ces phénomènes, de chercher les rapports qui les lient et d'exprimer les lois qui manifestent leur dépendance mutuelle. Les lois de la nature sont le principal objet de la physique et, une fois que l'on a trouvé celles qui régissent une certaine classe de phénomènes, il faut faire un pas de plus :

les faits et les lois n'étant que des constatations, l'on doit s'occuper de les expliquer par un travail de généralisation d'où naissent les grandes théories scientifiques, lesquelles nous révèlent le mieux qu'il est possible le jeu caché des forces naturelles.

Dans le travail par lequel le savant remonte des phénomènes aux lois, et groupe les lois pour établir des théories, la part du raisonnement est très grande, et l'on comprend alors que les qualités propres de chaque nationalité, la mentalité qui résulte de l'éducation et des nombreuses influences héréditaires, le génie national en un mot, puissent jouer un rôle considérable et donner à la science, entendue dans ce sens, un caractère bien déterminé.

C'est pour cette raison, par exemple, que les productions allemandes ne ressemblent en rien aux productions françaises. Le savant allemand, esprit obscur et nuageux, trahi par la lourdeur et l'illogisme de sa langue, se perdra dans un océan de détails, entassera sans ordre ni logique une multitude d'observations où l'on cherchera en vain le point capital, le point essentiel ; le savant français, au contraire, méthodique, clair,

servi par une langue admirable d'élégance autant que de précision, bien préparé par une solide formation classique, fera jaillir autour de lui des flots de lumière, et gravera dans ses travaux l'empreinte du génie gréco-latin dont il est le plus pur représentant. " La science n'a pas de patrie, a dit Pasteur, mais le savant en a une " ; nous devons entendre par là que la mentalité qu'il doit à son pays et à son éducation exercera une grande influence sur la manière dont il poursuivra ses recherches et en exposera les résultats.

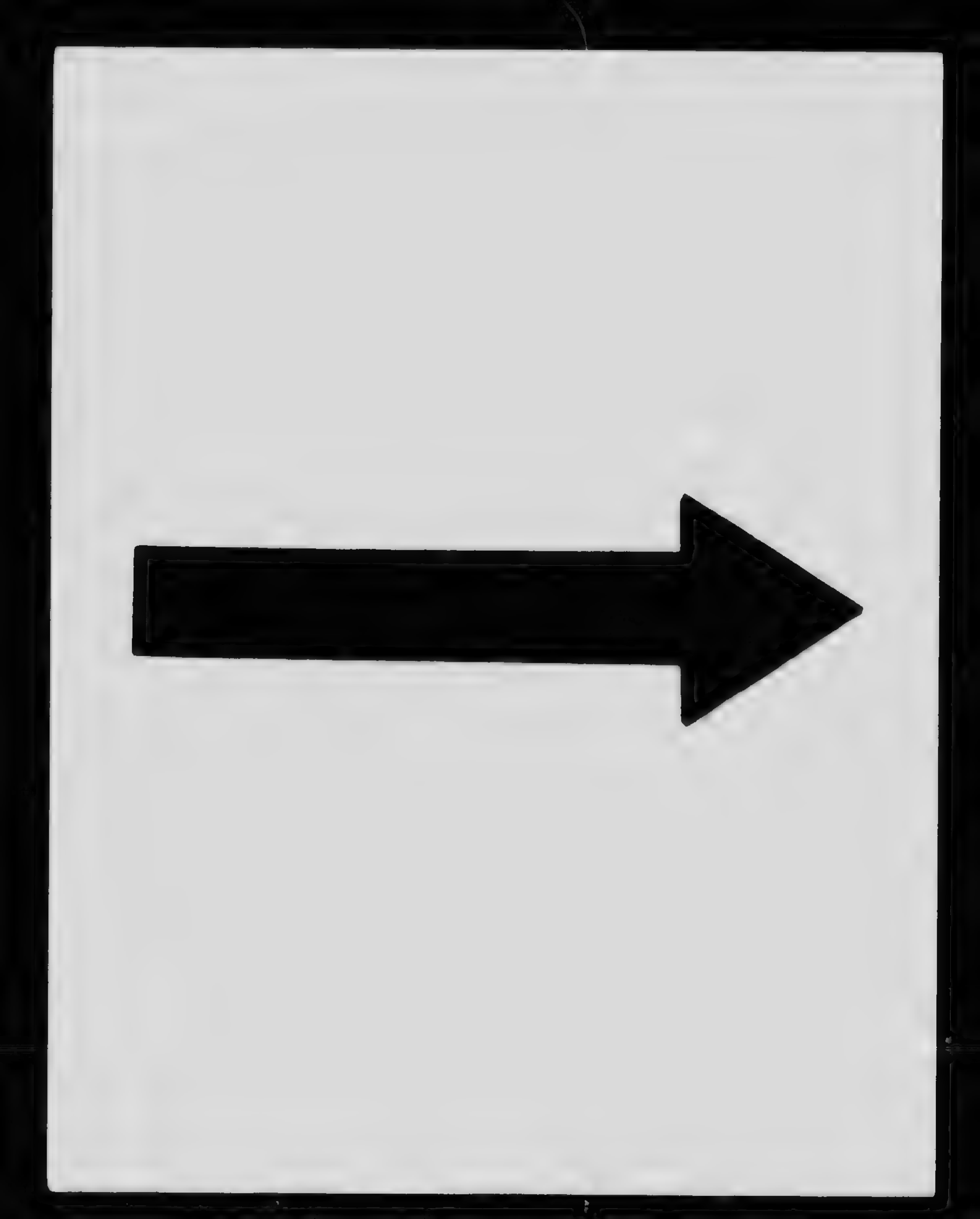
Et voilà pourquoi, Mesdames et Messieurs, l'on peut parler, à ce point de vue, de science française et voilà pourquoi, comme je vais essayer de le démontrer ce soir, la part de la France dans le développement des sciences physiques au XIXe siècle est si importante et si glorieuse.

*
* *

Il faudrait bien se garder de croire que les sciences physiques, tant en France qu'à l'étranger, sont nées avec le XIXe siècle. Malgré le développement prodigieux dont ce siècle a été témoin,

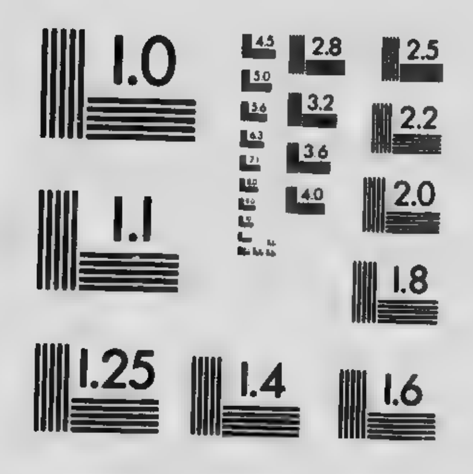
l'on ne doit pas oublier qu'il y eut, avant cette époque, un Galilée en Italie, un Képler en Allemagne, un Copernic en Pologne, un Newton en Angleterre, un Pascal et un Descartes en France. Nous limitant à ce dernier pays, jetons un coup d'œil rapide sur l'état des sciences mathématiques, physiques et astronomiques, avant le siècle dernier, et surtout à la fin du XVIIIe siècle, où une pléiade de savants de premier ordre ont illustré le nom français et dont la plupart ont brillé d'un vif éclat au commencement du siècle suivant.

Au XVIIe siècle, les sciences mathématiques s'enrichissent de découvertes importantes par les travaux géométriques de *Pascal*, — théorie des coniques, recherches sur la cycloïde, théorie des nombres, calcul des probabilités ; — en physique, le même savant établit le principe fondamental de l'hydrostatique, appelé principe de Pascal, d'où est sortie la presse hydraulique, puis, par les mémorables expériences du Puy-de-Dôme, il prouve définitivement la pesanteur de l'air, la pression atmosphérique, prélude de l'invention du baromètre.



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





Descartes, d'autre part, révolutionne profondément les sciences mathématiques par l'application de l'analyse à la géométrie des courbes. C'est cette transformation de la géométrie qui a préparé les voies aux immortels travaux de Newton sur la gravitation universelle et à la découverte du plus merveilleux instrument de la science moderne, le calcul infinitésimal.

Dans son traité de *Dioptrique*, il pose le point de départ de la célèbre théorie des ondulations de la lumière qui a renouvelé toute l'optique et qui fut définitivement prouvée deux siècles plus tard par Fresnel et Cauchy ; dans ce même ouvrage, il établit, par la fameuse loi des *sinus* qui porte son nom, la base de toute la théorie de la réfraction.

Dans le même siècle, *Denis Papin* imagine la première machine à vapeur à piston et l'emploie même à faire mouvoir un bateau. L'on sait que, près d'un siècle plus tard, *Claude Jouffroy*, en 1770, avec une machine perfectionnée par Watt, fait marcher un navire sur le Doubs, et, en 1783,

après avoir remplacé les rames palmipèdes par les roues à aubes, remonte la Saône avec un plein succès entre Lyon et l'Ile Barbe.

Également en 1783, le premier chapitre de la navigation aérienne est ouvert par les frères *Montgolfier*. Les ballons à air chaud, que l'on a appelés *montgolfières*, sont inventés et presqu'en même temps *Charles* et *Robert*, à Paris, font monter les premiers ballons à hydrogène, les premiers *aérostats*, et créent coup sur coup tout le matériel aérostier tel qu'il existe encore de nos jours. Bien plus, on songe tout de suite à utiliser les ballons comme postes d'observation dans les armées, et, sous l'instigation de *Monge*, une compagnie d'*aérostiers* est établie dans l'armée du Nord, et les aérostats, dans la campagne de 1793, figurent au siège de Maubeuge, à la bataille de Charleroi et à la bataille de Fleurus.

Mais il est peu de science plus française et où la France ait joué un rôle plus prépondérant que la *géodésie*, c'est-à-dire la science qui a pour but de déterminer la forme exacte de la Terre et d'en mesurer les dimensions.

En 1665, l'astronome français, l'abbé *Picard*, à la demande de l'Académie des Sciences nouvellement fondée, mesure un arc de méridien avec une précision remarquable et au moyen d'instruments nouveaux ; il propose ensuite à l'Académie de couvrir, à travers toute la France, de Dunkerque à Perpignan, le méridien de Paris d'une chaîne continue de triangles, opération commencée en 1680 par *Cassini* et *Lahire*. La méridienne de France est terminée en 1718 et la première carte de France, appelée *carte de Cassini*, est achevée sous Louis XVI.

Picard n'est pas seulement le créateur de la géodésie, mais il a aussi la gloire insigne d'avoir fourni à Newton les éléments nécessaires pour prouver les lois de la gravitation universelle. La loi de l'inverse du carré des distances, trouvée en défaut dans les premiers calculs, ne fut préservée de l'oubli que lorsque Newton eut l'idée, dix ans après les premières tentatives, de recommencer ses calculs avec les nouvelles mesures de Picard.

La France ne s'arrête pas en si beau chemin. En 1736, pour déterminer l'aplatissement de la Terre, *Bouguer* et *la Condamine* mesurent un arc

de méridien au Pérou, et *Clairaut* et *de Maupertuis* en Laponie. En 1739, une nouvelle méridienne de France est mesurée par *Lacaille* et *Cassini de Thury* et enfin, en 1792, pour l'établissement du système métrique, *Delambre* et *Méchain*, malgré la tourmente révolutionnaire et au prix de difficultés incroyables, effectuent avec succès une troisième mesure de la méridienne de France qu'ils étendent jusqu'à Barcelone.

L'idée de rattacher l'unité fondamentale de mesure aux dimensions de la Terre et les travaux scientifiques effectués à cette occasion pour mener cette célèbre entreprise à bonne fin, à savoir la création du système métrique, sont l'un des plus beaux titres de gloire de la science française à la fin du XVIIIe siècle.

Des savants de première grandeur firent partie des différentes commissions scientifiques qui travaillèrent au succès de l'œuvre et l'on peut citer, parmi les principaux, des noms comme ceux-ci : *Borda, Lagrange, Lavoisier, Tillet, Condorcet, Laplace, Monge, Cassini, Méchain, Legendre, Meusnier, Coulomb, F[illegible], Brisson, Vandermonde, Berthollet, de Prony*, auxquels ils faut joindre les

artistes *Lenoir* et *Fortin* dont le talent permit la construction d'instruments d'une précision inconnue jusqu'alors. Ce sont ces hommes qui ont illustré le nom français au déclin du XVIIIe siècle et qui, en ouvrant le XIXe, vont donner à la science un élan splendide qui ne s'est pas ralenti jusqu'à nos jours.

Malgré les progrès accomplis et les résultats obtenus, la science physique avait à peine franchi les premières étapes. On n'avait fait pour ainsi dire qu'entrevoir les premiers éléments des grandes théories de la chaleur et de la lumière ; l'électricité était encore dans la première enfance, et tout se bornait à quelques phénomènes mal compris d'électricité statique. On ne connaissait guère que les machines à friction, la bouteille de Leyde popularisée en France par l'abbé *Nollet*, et les phénomènes d'électricité atmosphérique étudiés par *Buffon*, *de Romas* et *Dalibard*. C'est à l'aurore du XIXe siècle que les idées vont se préciser, es méthodes se perfectionner et les découvertes se succéder, rapides, éclatantes, décisives. Les voiles se déchirent, les préjugés s'écroulent, la lumière jaillit p. tout et la France va jouer, dans

cette lutte ardente pour pénétrer les secrets de la nature, un rôle prépondérant et glorieux.

*
* *

Nous avons dit plus haut que le XIXe siècle a été ouvert par une pléiade de savants qui avaient illustré la science française à la fin du siècle précédent. Parmi ceux-ci, puisqu'il faut nous borner aux plus grands noms, il convient de citer l'astronome et mathématicien *Lagrange*, mort en 1813, célèbre par sa *Méthode des variations*, et qui dans le domaine de la trigonométrie sphérique et de la mécanique céleste a brillé d'un vif éclat. Nommons aussi le fameux géomètre *Legendre*, le général *Poncelet*, dont le nom sert à désigner l'unité de puissance mécanique, *de Prony*, le mathématicien et physicien *Poisson*, le physicien et géodésien *Biot*, et plusieurs autres.

Mais le savant qui domine tous les autres à cette époque, tant par l'importance de ses œuvres et de ses découvertes que par l'influence qu'il a exercée dans le monde des sciences, est sans contredit *Laplace*, mort en 1827. Dans son immor-

tel ouvrage *Traité de la mécanique céleste*, il résout la question si controversée de la stabilité du système du monde, en s'appuyant uniquement sur les principes de l'attraction newtonienne. A vingt-quatre ans, il découvre l'invariabilité des distances moyennes des planètes au Soleil, puis, plus tard, il explique les grandes inégalités de Jupiter et de Saturne l'inégalité séculaire du mouvement de la Lune, et les lois des satellites de Jupiter. Après avoir complété les études de d'Alembert sur la précession des équinoxes, il donne une mesure de l'aplatissement terrestre en partant des actions de la Lune sur le renflement équatorial.

Au sujet de la durée de la révolution de l'anneau de Saturne, Laplace, par le calcul, arrive aux mêmes résultats reconnus par Herschell au moyen de l'observation télescopique.

Ces quelques détails font voir à quel genre de problèmes Laplace s'est attaqué et donnent une pâle idée de la profondeur de son génie. Mais il y a plus ; il détermine encore, par des formules, les orbites des comètes, calcule leur masse, établit des règles pour prédire plusieurs années d'avance l'heure et la hauteur des grandes marées, enfin,

dans son livre *Exposition du système du monde*, il développe la grandiose conception de l'origine de notre monde planétaire par la condensation et la rotation de la nébuleuse primitive d'où se détachent des anneaux qui donneront naissance aux planètes et à leurs satellites, en laissant au centre la masse ignée qui deviendra le Soleil.

Laplace ne limita pas son activité aux seules questions de mécanique céleste ; rien ne lui fut étranger et ses recherches en physique, sur la réfraction de la lumière, sur la mesure des hauteurs par le baromètre, sur la vitesse du son, ses études sur la calorimétrie et la capillarité, le placent à la tête des physiciens de l'époque et de l'Académie des Sciences dont il est l'âme dirigeante. C'est par un génie de cette envergure que la science française est représentée au début du XIXe siècle ; l'histoire a démontré qu'elle n'a pas dégénéré jusqu'à la fin de cette glorieuse période.

A la suite de Laplace, ce sont des savants français tels que *Cauchy*, le général *Poncelet*, *Galois*,

Fourier qui ont ouvert dans tous les domaines des voies nouvelles, et la série se terminera brillamment avec *Henri Poincaré*.

L'on considère la théorie mécanique de la chaleur, par laquelle la chaleur n'est rien autre chose qu'un mode particulier de mouvement, comme l'une des plus importantes découvertes du XIXe siècle. Non seulement on a prouvé que la chaleur peut se transformer en travail et le travail en chaleur, mais encore qu'une même quantité de chaleur, plus exactement une calorie, produit toujours une quantité déterminée et invariable de travail mécanique et inversement, ce qu'on appelle l'équivalent mécanique de la calorie. L'on a coutume d'attribuer ce principe de l'équivalence au docteur allemand Meyer, mais des recherches précises font voir qu'il n'en est pas ainsi. Vers 1800, *Montgolfier*, l'inventeur des ballons, affirme la transformation réciproque du travail et de la chaleur, bien que ses idées soient passées inaperçues, et le principe de l'équivalence est énoncé quatre ans avant Meyer, en 1839, par *Marc Seguin* et dix ans auparavant par *Sadi Carnot*.

C'est à ce dernier, fils de l'*organisateur de la victoire* en France à la fin du XVIIIe siècle, que l'on doit l'énoncé du principe de la dégradation de l'énergie, appelé *principe de Carnot*, lequel, avec celui de l'équivalence, domine toute l'énergétique. C'est pour cette raison que l'éminent physicien anglais, lord *Kelvin*, n'a pas craint d'affirmer que, dans toute l'étendue du domaine des sciences, il n'y a rien de plus grand que l'œuvre de *Sadi Carnot*.

Au point de vue des applications pratiques, il n'y a pas d'invention qui ait révolutionné plus profondément le commerce, l'industrie et les arts mécaniques que la machine à vapeur. Outre son emploi dans les manufactures et les usines pour faire mouvoir une infinité de mécanismes de toutes sortes, c'est elle qui a donné aux chemins de fer et à la navigation océanique le prodigieux développement que l'on connaît et sur les conséquences duquel il est inutile d'insister.

Mais les débuts de la locomotive et des bateaux à vapeur furent lents et pénibles, en particulier parce qu'on ne savait pas construire des chaudières pouvant utiliser économiquement la chaleur du

combustible ; la surface de chauffe étant insuffisante, la production de vapeur dans les chaudières des locomotives était inférieure à la dépense et la machine *s'essoufflait* après quelques heures de marche. Pour les bateaux à vapeur, le rendement des machines était tellement faible qu'un navire, pour une longue traversée comme celle de l'océan, n'aurait pu porter tout le combustible nécessaire au voyage.

En 1827, la solution de cet important problème, dont les conséquences ne sauraient se calculer, fut trouvée par un ingénieur français *Marc Seguin*, cité plus haut et déjà célèbre par l'invention des ponts suspendus sur fils. Marc Seguin, dans le but d'augmenter considérablement la surface de chauffe et d'utiliser le mieux possible par ce moyen la chaleur du combustible, eut l'idée de placer dans les chaudières de nombreux tubes ouverts aux deux extrémités et dans lesquels les flammes du foyer et les gaz chauds, en contact avec une grande surface d'eau, produisent une vaporisation extrêmement rapide et bien supérieure à la dépense : c'est la *chaudière tubulaire* encore en usage de nos jours. Stephenson, en Angleterre,

l'applique immédiatement aux locomotives et réalise les premières machines pratiques ; c'est grâce aussi à ces mêmes chaudières que, quelques années plus tard, les premiers navires à vapeur traversent l'océan et opèrent dans les moyens de transport et les relations commerciales la transformation la plus merveilleuse dont l'histoire fasse mention.

Mais la navigation océanique exigeait un nouveau perfectionnement : il fallait remplacer les énormes roues à aubes placées de chaque côté du navire par un propulseur de petit volume, moins affecté par les mouvements de tangage et de roulis et complètement immergé sous l'eau, afin de le soustraire, comme cela est indispensable pour les navires de guerre, aux coups de l'ennemi. Ce propulseur idéal, c'est l'*hélice*, c'est-à-dire une roue composée de deux à quatre ailes courbes qui sont des portions d'une lame spirale semblable à celle d'un tire-bouchon. L'hélice, au point de vue mécanique, n'est rien autre chose qu'une vis à plusieurs filets dont l'eau est l'écrou.

Bien qu'Archimède soit l'inventeur de l'hélice comme engin mécanique et que l'idée de l'emplo-

yer comme propulseur des navires revienne au fameux mathématicien Daniel Bernoulli, l'on peut affirmer que les plus importantes études sur ce sujet ont été faites par le mécanicien français *Frédéric Sauvage.* Ce dernier, en effet, a démontré ce fait capital que l'hélice, pour agir comme moteur avec la plus grande intensité, doit se réduire à un seul tour de spire. C'est grâce à l'invention de Sauvage que la navigation océanique a pris un si grand développement et c'est aussi grâce à l'hélice que la navigation aérienne, par les dirigeables et les aéroplanes, est devenue possible.

En optique, une découverte de la plus haute importance vient illustrer la science française dans la première moitié du XIXe siècle : je veux parler de l'invention de la *photographie.*

On connaissait bien, à cette époque, la *chambre obscure* et les images fugitives qu'elle permet d'obtenir ; on savait aussi que la lumière peut agir chimiquement sur certaines substances, en particulier sur le chlorure d'argent, comme Charles l'avait déjà expérimenté. Mais on avait inutile-

ment cherché le moyen d'obtenir des images inaltérables et permanentes par l'action des rayons lumineux.

En 1829, une première solution du problème est trouvée par le capitaine français *Niepce* : après quinze années de recherches, celui-ci est parvenu à fixer, sur une lame de cuivre plaquée d'argent, une image inaltérable à la lumière. La substance impressionnable employée était le bitume de Judée plongé dans un mélange d'huile de lavande et de pétrole.

Dix années après, en 1839, l'artiste-peintre *Daguerre*, déjà connu par l'invention du *diorama* et associé aux travaux de Niepce, fit connaître un nouveau procédé de photographie, que l'on a appelé *daguerréotypie*, et qui l'emporte de beaucoup, pour la finesse des détails, le coloris de l'image et la réduction du temps de pose, sur les premiers essais de Niepce. Daguerre faisait agir la lumière sur une plaque de cuivre recouverte d'iodure d'argent, puis révélait l'image par l'exposition aux vapeurs de mercure et, enfin, fixait définitivement cette image en dissolvant l'iodure non attaqué dans l'hyposulphite de soude.

La photographie, c'est-à-dire l'art d'obtenir des images inaltérables par l'action des rayons lumineux, était un fait accompli. Le 10 août 1839, Arago, dans une séance publique de l'Académie des Sciences, fit connaître l'invention de Daguerre, et c'est à cette occasion que l'humble chambre obscure, utilisée et transformée pour diriger les rayons lumineux sur la plaque sensible, prit le nom de *daguerréotype*.

Sans doute, le procédé de Daguerre a été grandement perfectionné et la photographie, de nos jours, développée de toute manière, a atteint une perfection inouïe. Mais Niepce et Daguerre n'en sont pas moins les pionniers d'une science nouvelle dont l'importance n'échappe à personne, et les progrès accomplis prouvent toute la fécondité de cette brillante voie qu'ils ont ouverte aux chercheurs.

*
* *

Les plus grandes découvertes sont rarement celles que le public apprécie davantage. Les applications pratiques de la science, celles qui

exercent une grande influence sur le développement du commerce et de l'industrie, celles surtout qui rapportent de gros bénifices, excitent toujours plus l'admiration et la reconnaissance des hommes que la solution des problèmes ardus de la science pure, connus des seuls initiés et des seuls spécialistes. De ce nombre sont les questions si complexes et si difficiles de l'optique supérieure, telles que la double réfraction, l'interférence des rayons lumineux, la diffraction, les colorations des lames minces.

Au commencement du XIXe siècle, un grand nombre de phénomènes étaient déjà connus : Bartholin, en Hollande, avait découvert la double réfraction dans le spath d'Islande ; Newton avait fait connaître, après Hooke, les couleurs des lames minces et les phénomènes de diffraction, et Young avait posé le principe des interférences. En 1810, le colonel d'artillerie français *Malus* ouvrit, par la découverte de la *polarisation* de la lumière, une voie nouvelle très féconde en résultats théoriques et pratiques de toutes sortes, puisque nous lui devons le *polarimètre* et le *saccharimètre*, appareils de dosage extrêmement délicats encore employés

dans tous les laboratoires de chimie. La première annonce de la découverte de Malus, raconte Biot, eut un éclat extraordinaire : non seulement l'Institut l'admit bientôt au nombre de ses membres, mais, malgré l'état de guerre qui existait entre l'Angleterre et la France, la Société Royale de Londres lui décerna une médaille d'or.

Quelque temps après, *Arago* découvre la polarisation chromatique et la polarisation rotatoire dont Biot, en France, et Brewster, en Angleterre, établissent les lois.

Mais le point capital restait à résoudre : il fallait une théorie complète et solide qui rende compte parfaitement de tous les phénomènes, il fallait choisir et établir définitivement l'une ou l'autre des deux grandes théories qui, à cette époque, divisaient en deux camps bien distincts le monde savant.

L'une d'elles, appelée *théorie de l'émission*, défendue opiniâtrement par Newton et ensuite par les principaux physiciens français, tels que Laplace, Biot et Poisson, supposait la matérialité de la lumière ; d'après cette théorie, la lumière serait le résultat de particules matérielles extrê-

mement ténues lancées par les corps lumineux dans toutes les directions avec une rapidité incroyable.

L'autre, appelée *théorie des ondulations*, entrevue par Descartes et esquissée par le hollandais Huyghens, ramenait tous les phénomènes lumineux à un mode particulier de mouvement des corps. D'après cette théorie, les molécules des corps lumineux sont animées de vibrations extrêmement rapides, analogues à celles des corps sonores, et qui se transmettent, sous forme d'ondes ou d'ondulations, dans un milieu hypothétique, un fluide impondérable qui remplirait tout l'univers et qu'on appelle l'*éther*.

Il était réservé à un physicien français de génie, *Augustin Fresnel*, de clore le débat et d'édifier sur des bases inébranlables cette merveilleuse théorie des ondes, l'un des plus beaux monuments scientifiques du siècle.

Il fallait une singulière hardiesse et un courage peu commun pour que le jeune ingénieur des ponts et chaussées, âgé à peine de 30 ans, osât entrer en lice et combattre la théorie de l'émission soutenue par l'écrasante autorité de Newton et appuyée

par des physiciens de haute marque comme Biot, Poisson et surtout Laplace. Vivement encouragé par Ampère et Arago, Fresnel se décide à prendre part à un concours ouvert par l'Académie des Sciences pour l'étude des phénomènes de diffraction. C'est de là que commence la série de ses découvertes, qui devait aboutir à un triomphe définitif et éclatant.

Non seulement son mémoire, signalé " par un accord constant du calcul et de l'expérience, jusque dans les détails les plus minutieux ", fut, d'un jugement unanime, couronné par l'Académie des Sciences, mais encore Fresnel, reprenant l'étude de la double réfraction, l'étendit à tous les cristaux, en trouva la cause dans l'inégale densité de l'éther et par suite dans l'inégale vitesse de la lumière suivant les directions parcourues, puis énonça, en collaboration avec Arago, les lois de l'interférence des rayons polarisés, découvrit la polarisation elliptique et circulaire, et enfin, dans une grandiose synthèse, fit entrer toutes ces classes de phénomènes dans la théorie des ondulations qui les explique tous et même permet d'en prévoir de nouveaux.

Fresnel renverse tous les obstacles, prévient toutes les difficultés, répond à toutes les objections. Un dernier point toutefois reste encore obscur : les phénomènes si variés de la polarisation chromatique et de la polarisation rotatoire semblent inexplicables dans la théorie des ondes, parce qu'on assimilait trop exactement les vibrations lumineuses aux vibrations sonores. Les partisans de l'émission sont sur le point de triompher, lorsque Fresnel met le comble à sa gloire par sa conception géniale des vibrations transversales qui résout définitivement la question et asseoit la théorie ondulatoire sur des fondements désormais inattaquables.

Le fameux mémoire de Fresnel sur la double réfraction fut présenté à l'Académie des Sciences en novembre 1821.

“ Immédiatement après la lecture du rapport, raconte Verdet, Laplace prit la parole, et, avec cette générosité d'un grand esprit qui, dans l'adversaire de la veille, se plaît à reconnaître et à saluer un égal, proclama l'importance exceptionnelle du travail dont on venait de rendre compte : il félicita l'auteur de sa constance et de sa sagacité

qui l'avaient conduit à découvrir une loi qui avait échappé aux plus habiles, et, dévançant en quelque sorte le jugement de la postérité, déclara qu'il mettait ces recherches au-dessus de tout ce qu'on avait depuis longtemps communiqué à l'Académie."

Biot, un autre des principaux adversaires de Fresnel, se rendit un peu plus tard à l'évidence et écrivit dans ses *Mélanges scientifiques et littéraires :*

" Depuis l'époque où cette notice a été écrite, tous les phénomènes que présente la physique de la lumière ont été, par le génie de Fresnel, si habilement et si intimement rattachés en nombres à la doctrine du mouvement ondulatoire, qu'il est aujourd'hui presque impossible de se refuser à reconnaître la réalité de ce mode de constitution du principe lumineux."

Ces deux éclatants témoignages suffiraient pour établir la gloire de Fresnel. En 1850, plusieurs années après sa mort, survenue en 1827, cette gloire reçut son couronnement définitif, grâce à l'initiative et à la sagacité d'Arago. Celui-ci, qui avait guidé les premiers pas de Fresnel et

s'était associé à ses travaux, au point qu'on peut dire que c'est à Arago qu'on doit Fresnel, ne s'est pas borné à préparer et partager les travaux de son illustre protégé ; il conçut un dispositif expérimental qui devait, dans ses prévisions, terminer pour toujours la discussion au sujet des deux théories de l'émission et des ondulations, en prouvant que la vitesse de la lumière est plus grande dans l'air que dans l'eau, comme l'exige la deuxième théorie.

Malgré les difficultés extrêmes de l'entreprise, il se met résolument à l'œuvre avec l'illustre constructeur *Breguet*, expose tous les détails de l'expérience et fait construire les appareils destinés à l'exécuter. Malheureusement, l'affaiblissement considérable de sa vue le força d'abandonner ses essais, mais il eut le bonheur de trouver parmi ses disciples deux célèbres physiciens français *Fizeau* et *Foucault* qui se chargèrent de continuer ses travaux et de les mener à bonne fin. En effet, Fizeau et Foucault, chacun de leur côté, et avec des dispositifs opératoires peu différents, exécu-

tèrent l'expérience si habilement conçue et prouvèrent que la lumière se propage plus vite dans l'air que dans l'eau.

C'était le coup de grâce donné à la théorie de l'émission qui supposait le contraire, c'était le triomphe complet de Fresnel.

Ajoutons que Fresnel est aussi l'inventeur des *lentilles à échelons* qu'il a appliquées, en collaboration avec Arago, aux phares qui guident les navigateurs près des côtes de France. Ces deux savants ont également perfectionné les phares à éclipses et ont inventé les lampes à plusieurs mèches concentriques dont l'éclat, dans les phares, égalait vingt-cinq fois celui des meilleures lampes alors en usage.

*
* *

L'électricité, au début du XIXe siècle, était peut-être la partie des sciences physiques la moins avancée. Nous l'avons dit plus haut, à part les phénomènes de l'électricité statique et quelques notions de magnétisme dont les lois ont été énon-

cées par le physicien français *Coulomb*, tout était à faire, tout était encore à trouver, à appliquer, à expliquer.

Un progrès important fut accompli en 1799 par l'invention de la pile de *Volta*.

Mais, là encore, malgré l'enthousiasme que la découverte de la pile suscita dans le monde savant, on ignorait complètement la théorie de ce nouvel appareil, et Volta lui-même en a toujours méconnu le mode d'action en l'assimilant à une bouteille de Leyde perpétuelle.

En 1820, une révolution profonde va s'opérer ; l'électricité va se dépouiller de ses vieilles formules et l'aurore d'une science nouvelle, j'allais dire une véritable renaissance va frapper d'étonnement et d'admiration le monde savant tout entier, et l'auteur de cette transformation créatrice sera un géomètre et physicien français de génie, *André-Marie Ampère*.

“ Il est dans l'histoire des sciences, déclarait l'illustre physicien Cornu, dans un discours prononcé à l'inauguration de la statue d'Ampère à Lyon, le 8 octobre 1888, des noms dont l'éclat va grandissant avec les années à mesure que les géné-

rations comprennent davantage la grandeur et la fécondité des œuvres auxquelles ces noms sont attachés.

" André-Marie Ampère est de ceux-là."

Les premiers travaux mathématiques d'Ampère, qui portent déjà l'empreinte d'un esprit profond, attirent sur lui l'attention des savants, et, grâce à la protection de Lalande, de Delambre et de Laplace, il entre comme répétiteur d'analyse à l'École polytechnique de Paris. En 1808, il est inspecteur général de l'Université, en 1809, professeur du cours d'analyse et de mécanique, et en 1814 il entre à l'Académie des Sciences comme membre de la section de géométrie. Mais chez Ampère le géomètre ne faisait que préparer le physicien et c'est comme physicien qu'il couvrit son nom d'une gloire immortelle.

Au mois de septembre 1820, une découverte *sensationnelle*, comme on dirait de nos jours, fut annoncée à l'Académie des Sciences. Un physicien de Copenhague, *Œrsted*, venait de constater que le fil qui unit les pôles d'une pile voltaïque avait la curieuse propriété de dévier une aiguille aimantée.

Ampère ne se contente pas de répéter l'expérience d'Œrsted, mais son esprit clairvoyant en fait le point de départ d'une orientation inattendue de la science de l'électricité et du magnétisme. Avec une rapidité dont l'histoire des sciences n'offre pas d'exemples, les calculs se succèdent aux calculs, les expériences se multiplient, des appareils nombreux, encore classiques de nos jours, sont imaginés et construits, découvertes sur découvertes sont annoncées à chaque séance de l'Académie : en quelques semaines, Ampère avait créé deux sciences nouvelles : l'*électromagnétisme* et l'*électrodynamique !*

En effet, de l'expérience d'Œrsted, il déduit l'existence et la définition du *courant électrique* et lui donne une direction, notions qui avaient échappé à Volta ; il résume le phénomène de la déviation de l'aiguille aimantée en personnifiant le courant dans une règle célèbre qu'on appelle *règle d'Ampère : le pôle austral de l'aiguille est dévié à la gauche du courant.* Plus que cela, en proposant qu'on utilise, comme signaux représentant les lettres de l'alphabet, les mouvements de

l'aiguille produits à toute distance par le courant d'une pile, il lance l'idée de la télégraphie électrique.

Puis, poursuivant ses recherches, il prouve la réciprocité de l'action des aimants sur les courants, l'action du magnétisme terrestre sur un courant mobile, et, créant de toute pièce l'électrodynamique, il en est en même temps le législateur en énonçant, sur les actions mutuelles des courants, les quatre fameuses lois qui portent son nom.

Mais Ampère ne s'arrête pas là !

Il identifie le magnétisme avec l'électricité et reproduit les propriétés des aimants par l'invention du cylindre électromagnétique ou le *solénoïde* : une simple spirale de fil de nature quelconque se comporte comme un véritable aimant, présente des pôles semblablement placés, en un mot, jouit de toutes les propriétés d'un barreau aimanté.

Enfin, sans parler de la découverte de l'électro-aimant, gloire qu'il partage avec Arago et dont nous parlerons plus loin, Ampère couronne la brillante série de ses travaux par l'énoncé de sa célèbre théorie du magnétisme dans laquelle il

explique le magnétisme par l'électricité et assimile un barreau aimanté à un faisceau de solénoïdes agissant comme un solénoïde unique.

Tel est, Mesdames et Messieurs, le résumé trop incomplet des remarquables travaux d'Ampère. Arago, voulant exprimer l'admiration que lui inspirait l'œuvre de son ami, s'écriait devant l'Académie des Sciences : " On dit les lois de Képler, on dira les lois d'Ampère " ; et le grand savant anglais Maxwell, l'auteur de la théorie électromagnétique de la lumière, a osé dire, ce qui est énorme pour un Anglais : " Ampère est le Newton de l'électricité ! "

Voilà pourquoi, pour prepétuer sa mémoire et reconnaître son mérite, les physiciens, réunis en Congrès à Paris en 1881, dans le but de définir et de nommer les unités électriques, adoptèrent, à côté de ceux de Volta, Ohm, Faraday et Coulomb, le nom d'Ampère pour signifier l'unité d'intensité de courant. Et depuis ce temps, chaque jour, dans les laboratoires et dans les usines, des milliers de bouches prononcent ce nom désormais fameux ; sur tous les tableaux de distribution d'énergie électrique, sur toutes les tables

des laboratoires où l'on se sert du courant électrique, à côté du galvanomètre et du voltmètre, il y a aussi l'*ampèremètre*.

Joseph Bertrand, l'éminent mathématicien, porte sur Ampère le jugement suivant :

" Les phénomènes complexes, et en apparence inexplicables, de l'action de deux courants, ont été analysés par lui et réduits à une loi élémentaire à laquelle cinquante ans de travaux et de progrès n'ont pas changé une syllabe.

" Le livre d'Ampère est, aujourd'hui encore l'œuvre la plus admirable produite dans la physique mathématique depuis le *Livre des principes* de Newton. Jamais plus beau problème ne s'est rencontré sur la voie d'un plus grand génie. Par un bonheur bien rare dans l'histoire des sciences tout ici appartient à Ampère. Le phénomène entièrement nouveau qu'il a deviné, c'est lui qui l'a observé le premier, c'est lui seul qui en a varié les circonstances pour en déduire les expériences si élégantes qui servent de base à la théorie, lui seul enfin qui, avec un rare bonheur, a exécuté tous les calculs et inventé toutes les démonstrations. Ampère a révélé une loi d'attraction no

velle plus complexe et plus malaisée sans doute à découvrir que celle des corps célestes. Il a été à la fois le Képler et le Newton de la théorie nouvelle.

" . . . Aucun génie n'a été plus complet : aucun inventeur mieux inspiré n'a été mieux servi par les circonstances."

*
* *

A plusieurs reprises, le nom d'*Arago* est venu sur mes lèvres. Il est temps maintenant de nous arrêter quelque peu sur cette personnalité si curieuse, si importante dans l'histoire des sciences, et aussi, si française.

Les débuts de François Arago dans la carrière scientifique sortent de l'ordinaire et méritent d'être signalés.

A peine âgé de dix-huit ans, il se prépare presque seul à subir le double examen requis pour obtenir son admission à l'École polytechnique. Il sort triomphant d'une première épreuve devant l'examinateur Monge qui l'avait serré de fort près,

puis se présente au deuxième tribunal d'examen présidé par le peu sympathique mathématicien Legendre.

Voici comment l'épreuve est racontée par le fameux entomologiste *Fabre* dans son livre "*Les Inventeurs et leurs Inventions*".

" — Comment vous nommez-vous, demanda le géomètre ?

— François Arago, répondit le jeune savant.

— Arago ?... Mais ce nom-là n'est pas français. Je refuse de vous admettre au concours. Retirez-vous.

—Que je me retire ? Et pour quel motif ?

— Vous n'êtes pas Français, vous dis-je, répond le professeur impatienté ; vous n'êtes pas Français : c'est évident.

— Je me permettrai de vous contredire ; je suis Français, tout ce qu'il y a de plus Français.

— Mais non, votre nom le dit.

— 'Mais si.

— Jamais dans la nationalité française n'a été porté le nom d'Arago.

— N'importe. Veuillez toujours m'interroger ; et après l'examen, aisément je fournirai les preuves de mon origine française.

" Subjugué par le ton digne et ferme de l'élève, Legendre consentit à l'examen avec l'arrière-pensée de ne pas être tendre.

" La rancune se trahit aux premières questions, posées avec l'intention évidente d'embarrasser l'élève. . Bien plus satisfait qu'effrayé des questions difficiles qui lui donnaient occasion de montrer ses connaissances, Arago, en quelques instants, eut blanchi le tableau de ses calculs, tantôt attaquant de front les difficultés, tantôt les contournant au moyen d'ingénieuses combinaisons. Sans un moment d'arrêt, la craie courait sur la planche noire, accompagnée de la parole qui argumentait, déduisait, expliquait, concluait avec une étonnante clarté. Coup sur coup, cinq questions venaient d'être résolues à l'aide de formules peu usitées et connues des maîtres seuls. L'élève en avait tiré merveilleusement parti, à l'extrême surprise de Legendre.

— Pourquoi ces formules, fait brusquement l'examinateur, pourquoi ces méthodes plutôt que

d'autres. Ce sont là des moyens que vous employez sans en comprendre la signification ; et je vous embarrasserais bien si je vous demandais de me les expliquer.

— Monsieur, répond le candidat, ces méthodes, je les emploie parce qu'elles sont plus générales et plus riches en conséquences. D'ailleurs je les comprends très bien, et j'espère vous en convaincre si vous me le permettez.

—Faites, répond Legendre.

" L'éponge est passée sur la tableau et le candidat se met à développer la théorie des méthodes qu'il vient d'employer. Ce n'est plus un élève qui parle, c'est un maître, c'est un mathématicien consommé qui, aux travaux des autres, ajoute ses propres aperçus, fruits de ses méditations solitaires et de son naissant génie. A ce lumineux savoir, à cette clarté d'exposition, Legendre reconnut enfin un vrai fils de la France, et tendant la main au savant candidat : " C'est parfaitement bien, monsieur ; vous êtes reçu."

De Humbolt disait que la vie d'Arago serait très difficile à écrire à cause du nombre et de la variété des travaux de l'illustre savant.

En effet, Arago fut à la fois physicien, géodésien, astronome, professeur, directeur d'observatoire, fin littérateur, homme politique et même ministre.

A peine sorti de l'École polytechnique, Arago, en 1806, est envoyé avec Biot en mission géodésique pour prolonger la méridienne de France jusqu'aux Iles Baléares, et ce n'est qu'au bout de trois ans, après avoir surmonté des difficultés inouïes et même au péril de sa vie, qu'il peut revenir en sa patrie, précédé d'ailleurs d'une réputation déjà si enviable que, par un exemple unique dans les fastes de l'Institut, il fut nommé à 23 ans, en 1809, membre de l'Académie des Sciences.

C'est à cette époque glorieuse de véritable renaissance scientifique, dans cette Académie où siégeaient des personnalités telles que Lagrange, Laplace, Monge, Fourier, Malus, Poisson, Fresnel, Cauchy, Gay-Lussac, Lamarck, Cuvier, Geoffroy-Saint-Hilaire, qu'Arago vient prendre place et apparaître bientôt comme un maître.

En 1830, il devient secrétaire perpétuel et inaugure les *lundis d'Arago*, si populaires à Paris, où il donne à la lecture des travaux présentés à

l'Académie un éclat extraordinaire, et qui deviennent pour le public un véritable régal scientifique et littéraire.

Arago s'est distingué tout particulièrement par la publication de ses admirables *Notices biographiques* dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, où il expose les travaux scientifiques des principales gloires dont la science est si fière. Tour à tour Copernic, Képler, Newton, Herschell, Clairaut, d'Alembert, Lagrange, et parmi les plus récents, Fresnel, Fourier, Ampère, Volta, Monge, Gay-Lussac, Carnot et bien d'autres passent sous sa plume ; les progrès de la science sont exposés, analysés avec une clarté, une maîtrise qui font de ces *Notices* des traités scientifiques de haute valeur.

L'Observatoire de Paris, dont il devient directeur, se transforme sous son intelligente direction. Il fait construire la salle méridienne, y introduit les meilleurs instruments d'observation et de précision, crée le service magnétique, fait édifier la grande coupole de la tour de l'est et enfin le grand amphithéâtre où il donne pendant trente ans ses cours fameux d'astronomie populaire, toujours

avidement recherchés du public et dans lesquels il est à la fois,— ce qui est extrêmement rare.— vulgarisateur hors ligne, toujours à la portée de son auditoire quel qu'il soit, et savant profond, qui ne craint pas d'aborder les questions les plus difficiles.

Arago ne se contente pas de faire connaître les travaux des autres : son œuvre scientifique personnelle est immense, ses découvertes sont de premier ordre ; dans la plupart des sciences d'observation, il est fondateur ou promoteur.

En astronomie, Arago étudie les surfaces des planètes plutôt que leurs mouvements, et il est l'auteur, pour l'étude de la constitution des astres, de méthodes nouvelles et fort élégantes. C'est avec raison que son successeur à l'Observatoire, l'éminent astronome Tisserand, a pu dire qu'Arago avait introduit la physique en astronomie et qu'on devait le considérer comme le principal promoteur de l'astronomie physique moderne.

En physique, Arago se signale par des découvertes importantes, notamment la découverte de la *polarisation chromatique* qui ouvre des voies nouvelles en optique. On lui doit encore les lois

de l'interférence des rayons polarisés, l'explication de la scintillation des étoiles, l'invention des méthodes interférentielles et photométriques.

En électricité, il découvre le magnétisme de rotation, prélude de l'induction qui a immortalisé Faraday.

Mais son plus beau titre de gloire, c'est d'avoir signalé le premier l'aimantation par les courants, et, en collaboration avec Ampère, d'avoir inventé l'*électro-aimant*.

En effet, Arago découvrit un jour que le fil qui joint les deux pôles d'une pile avait la propriété d'attirer la limaille de fer comme le ferait un aimant ordinaire ; il reconnut de plus que l'aimantation est transitoire dans la limaille de fer et que celle-ci retombe aussitôt que l'on supprime le courant, tandis que des particules d'acier s'aimantent définitivement. Il parvint également à aimanter, au moyen d'un courant, une aiguille ou une fine tige d'acier.

Arago s'empresse alors de communiquer sa découverte à son ami Ampère. Celui-ci, comme nous l'avons vu plus haut, venait d'établir les lois de l'action mutuelle des courants, l'identifi-

cation des aimants et des spirales ou solénoïdes et avait énoncé sa remarquable théorie du magnétisme par laquelle un barreau aimanté doit ses propriétés magnétiques à un ensemble de courants parallèles circulant autour des particules du fer et de l'acier. — Ampère, en suivant les conséquences logiques de sa théorie, — et c'est cela qui constitue le mérite d'une découverte et la distingue nettement d'une simple trouvaille,— n'eut pas de peine à prévoir que l'on obtiendrait une plus forte aimantation du fer ou de l'acier et une position constante des pôles en introduisant la tige à aimanter dans l'intérieur d'une hélice ou spirale de fil parcourue par un courant. — Ampère conseilla donc à Arago d'enrouler le fil interpolaire de la pile autour de l'aiguille à aimanter. — Les deux amis exécutent ensemble l'expérience avec plein succès, les prévisions théoriques d'Ampère sont réalisées, l'*électro-aimant* est trouvé, découverte des plus importantes et des plus fécondes en applications pratiques de l'électricité. — C'est l'électro-aimant, en effet, qui est la base fondamentale du télégraphe et du téléphone, c'est l'électro-aimant qui

permet à la dynamo de produire l'énergie électrique, de la transformer en lumière, chaleur et mouvement.

Et si plus tard l'américain Morse inventa le télégraphe électrique qui porte son nom et qui est encore en usage de nos jours, il n'eut pour ainsi dire qu'à répéter à distance, au bout d'une longue ligne télégraphique, l'expérience d'Arago et d'Ampère ; il n'eut qu'à étendre le bras pour cueillir le fruit mûr prêt à se détacher de l'arbre. Et cela est encore plus vrai lorsqu'on se rappelle que Morse n'était pas physicien, ni mécanicien, mais peintre. Aussi, lorsqu'il eut obtenu du gouvernement américain les subsides nécessaires pour faire les essais décisifs de son système, il retourna tranquillement à sa palette et à ses pinceaux.

Arago se distingua aussi,— et c'est là un des aspects les plus séduisants de son caractère,— par le souci constant qu'il avait de prendre sous sa protection et d'encourager les jeunes savants qui venaient se confier à lui. A cause de la multiplicité de ses occupations, il ne faisait qu'effleurer souvent certaines questions, il se contentait de lancer une idée sans l'approfondir et, avec un

désintéressement qu'il puisait dans son grand amour de la science, il confiait à d'autres la solution des problèmes qu'il aurait pu trouver lui-même.

Nous avons déjà dit que c'est à Arago qu'on doit Fresnel ; c'est lui aussi qui fit comprendre l'importance de la découverte de Daguerre, c'est enfin par ses encouragements et sous son inspiration qu'un jeune ingénieur, *Le Verrier*, parvint à réaliser, dans le domaine de l'astronomie, l'un des plus beaux triomphes de la science moderne, la découverte de la planète Neptune.

*
* *

Le Verrier était bien préparé pour faire la découverte dont nous venons de parler. Doué de grandes dispositions pour les sciences mathématiques, il s'attaqua de bonne heure aux problèmes les plus ardus de la mécanique céleste. Ses très remarquables travaux sur la stabilité du système solaire, sur la théorie de Mercure et des comètes périodiques lui ouvrirent les portes de l'Académie en 1846.

Uranus, la dernière planète connue à cette époque, malgré les travaux de Laplace et de Delambre, présentait dans sa course autour du Soleil des irrégularités inexplicables par l'action des autres planètes et qui intriguaient fort les astronomes.

Le Verrier, d'après l'avis de plusieurs savants, entreprit l'étonnante tâche de déterminer la position et de calculer les éléments d'une dernière planète qu'il n'avait jamais vue et dont l'attraction, d'après les lois de la gravitation, serait la cause des perturbations d'Uranus. Le 30 août 1846, il communiqua le résultat de ses calculs à l'Académie et indiqua l'endroit du ciel où devait se trouver la planète soupçonnée. Moins d'un mois après, l'astronome Galle aperçut au bout de sa lunette, à moins d'un degré de la position assignée, l'astre que l'astronome français avait découvert *au bout de sa plume !* La nouvelle planète fut appelée Neptune et compléta le système planétaire tel qu'on le connaît aujourd'hui.

La découverte de Neptune, outre qu'elle nimbe le front de Le Verrier d'une auréole de gloire impérissable, est, en plus, la preuve la plus palpable

de l'exactitude des méthodes astronomiques modernes et la plus éclatante confirmation de la théorie de la gravitation universelle, d'autant plus que celle-ci sortit encore victorieuse des épreuves que lui fit subir Le Verrier, par ses calculs poursuivis pendant trente ans sur la marche des huit planètes principales et sur les mouvements apparents du Soleil.

Le Verrier, comme d'ailleurs beaucoup d'autres savants, en particulier Fresnel et Ampère, n'avait jamais cru à l'incompatibilité de la science avec la pratique de la foi religieuse. Profondément chrétien, il avait su, à l'exemple de Képler et de Copernic, voir Dieu dans ses œuvres.

C'est pourquoi, en 1877, l'un des orateurs qui fit son éloge sur sa tombe au nom du conseil scientifique de l'Observatoire, ne craignit pas de dire : "On n'apprendra pas sans émotion que l'étude du ciel et la foi scientifique n'avaient fait que consolider en lui la foi vive du chrétien ; c'est là un exemple donné de bien haut à notre siècle."

Voilà, Mesdames et Messieurs, un pâle et trop

imparfait résumé de l'hisoire de la physique et de l'astronomie françaises dans la première moitié du XIXe siècle.

La bonne semence était jetée en terre fertile, les grandes théories étaient énoncées. A l'autre moitié du siècle sera réservé le rôle d'en développer les conséquences et d'en faire surgir ces applications pratiques, ces inventions merveilleuses qui font aujourd'hui notre admiration.

II

Nous avons vu, dans la première partie de ce travail, comment la théorie des ondulations, si brillamment élaborée par Fresnel, avait reçu sa confirmation définitive par les délicates et ingénieuses expériences de *Foucault* et de *Fizeau*, exécutées en 1850. Poursuivons notre revue historique des sciences physiques françaises dans la seconde moitié du XIXe siècle, et examinons les autres œuvres de ces deux éminents physiciens.

En 1851, Foucault attire l'attention du monde

savant tout entier sur sa mémorable expérience du pendule, par laquelle il prouva le mouvement de rotation de la Terre.

Depuis Galilée, les preuves de la rotation de la Terre se sont multipliées, et, de nos jours, s'il y a des gens qui ne sont pas convaincus de la réalité de ce mouvement,— et il semble qu'il en existe encore quelques-uns, — c'est qu'ils n'ont pas, en physique et en mécanique, les connaissances suffisantes pour comprendre la valeur des démonstrations.

Foucault, en partant du principe de la fixité dans l'espace du plan d'oscillation du pendule, a prévu que sa déviation apparente, déjà constatée, mais restée inexplicable, était une conséquence nécessaire du mouvement de la Terre.

L'expérience fut faite à Paris au moyen d'un pendule gigantesque dont le fil, installé sous l'immense coupole du Panthéon, mesurait plus de 160 pieds de longueur, et dont la masse métallique pesait plus de 60 livres. Cette masse était munie d'une pointe qui, à chaque oscillation, venait entamer de petits monticules de sable placés aux extrémités des arcs décrits. La vitesse d'oscil-

lation était assez lente pour que le mouvement de rotation de la Terre fût rendu sensible, par les marques tracées sur le sable, à chaque retour du pendule vers le point de départ, de sorte que les spectateurs de cette magnifique expérience voyaient littéralement tourner la Terre.

Foucault a effectué la même démonstration au moyen du *gyroscope*, c'est-à-dire un tore ou un anneau très lourd tournant rapidement sur lui-même et dont le plan, fixe dans l'espace, paraît dévier par rapport aux objets extérieurs.

Depuis ce temps, le gyroscope a été l'objet de nombreuses applications pratiques : en particulier on l'emploie comme boussole dans les sous-marins et pour atténuer dans les navires les mouvements de roulis.

On doit encore à Foucault un *photomètre* qui porte son nom et des perfectionnements très importants dans la construction des grands télescopes. On sait que, dans ces instruments, l'objectif à réfraction des lunettes astronomiques est remplacé par un miroir. Les miroirs de tous les télescopes, formés d'un alliage métallique bien poli, avaient le grave inconvénient d'être lourds

et difficiles à tailler et à polir, ce qui limitait beaucoup leur emploi, surtout pour les grands instruments. Le métal poli, d'autre part, s'oxydait rapidement à l'air humide et il fallait, pour le remettre en état, recommencer le long et dispendieux travail du polissage et du tracé de la courbure.

Ces défauts des télescopes, qui leur faisaient préferer les lunettes, furent supprimés en grande partie par la substitution, imaginée par Foucault, des miroirs en verre argenté aux miroirs métalliques. Foucault, en effet, eut l'idée de déposer une mince couche d'argent, douée d'un grand pouvoir réflecteur, sur un bloc de verre préalablement taillé suivant une courbure spéciale obtenue par sa méthode dite des *retouches locales*, dans le but de faire disparaître l'aberration de sphéricité. Ces nouveaux miroirs, plus légers, plus faciles à construire et moins dispendieux que les miroirs métalliques, ont en plus l'avantage de pouvoir être réparés sans difficultés lorsque la couche d'argent vient à se ternir : il suffit de la dissoudre dans l'acide azotique et de la remplacer rapidement et sans trop de frais par une autre.

Ces perfectionnements opérés par Foucault permirent la construction de télescopes de grandes dimensions, et tous les instruments modernes, en particulier celui que le gouvernement canadien a fait installer dans la Colombie britannique, sont munis de miroirs de ce genre.

Ajoutons que, pour reconnaître l'importance des études de Foucault sur les *courants tourbillons* qui se développent dans les masses métalliques conductrices se déplaçant dans un champ magnétique intense, les physiciens ont donné à ces courants le nom de *courants de Foucault.* Ce dernier les a mis en évidence d'une manière frappante dans sa belle expérience du *frein magnétique*, et les constructeurs savent combien il faut en tenir compte dans les machines d'induction.

Fizeau, de son côté, se distinque dans l'histoire des sciences par d'importants travaux en électricité et surtout en optique.

En électricité, on doit à Fizeau un perfectionnement des bobines d'induction par l'addition d'un condensateur monté en dérivation sur l'interrupteur, et qui a pour effet, en absorbant l'étincelle de self-induction, d'augmenter la rapidité de

l'interruption du courant primaire et d'élever considérablement la tension de l'étincelle aux bornes du secondaire.

En optique, *Fizeau* a signalé une application aussi importante qu'inattendue du spectroscope à l'étude du mouvement des étoiles, en modifiant le principe de Doppler relatif au déplacement des corps sonores, modification connue dans la science sous le nom de principe *Doppler-Fizeau*. Sans entrer dans des détails dont l'intelligence suppose des études assez étendues d'optique, disons simplement que la méthode de Fizeau permet, en mesurant le déplacement des raies brillantes des spectres stellaires, de déterminer les mouvements d'approchement et d'éloignement d'une étoile, et, par suite, de reconnaître l'orbite qu'elle trace autour d'un astre central dont l'existence se trouve par là-même découverte.

Enfin, *Fizeau* est l'auteur d'une méthode très ingénieuse pour mesurer la vitesse de la lumière. Cette vitesse est tellement grande que la plupart des anciens, et Descartes lui-même, ont toujours cru que la lumière se transmettait instantanément. Sans recourir aux espaces astronomiques, comme

l'avait fait le danois Rœmer au moyen des éclipses des satellites de Jupiter, Fizeau, en 1849, réussit, avec un système de roues dentées, à mesurer le temps pris par la lumière pour franchir deux fois la distance qui sépare Suresnes de Montmartre, soit environ 8½ kilomètres. Les expériences de Fizeau ont été reprises par Cornu en 1874, et Foucault, en 1862, était arrivé à peu près aux mêmes résultats, sans sortir de son laboratoire, avec la méthode du miroir tournant. De toutes ces mesures, on admet, pour la vitesse de la lumière, 300,000 kilomètres ou environ 62,000 lieues par seconde, soit 8 fois le tour de la Terre.

*
* *

Nous ne pouvons nous dispenser de dire quelques mots d'un illustre savant français dont l'œuvre, d'un caractère tout particulier, est peut-être unique dans l'histoire des sciences.

Victor Regnault ne s'est distingué par aucune découverte éclatante, il n'a attaché son nom à aucune loi physique. Critique défiant, esprit ingénieux, il consacra sa vie de savant à contrôler

les travaux de ses devanciers. Ennemi des approximations et des à peu près, il apporte dans la disposition des appareils qu'il invente, dans les méthodes expérimentales qu'il imagine, une précision qui n'a jamais été égalée. Il devine toutes les causes d'erreur et il les évite avec une remarquable ingéniosité. "Regnault, écrit J.-B. Dumas, pose en principe que le résultat de toute expérience doit se dégager net et clair. Il fait usage de mécanismes compliqués, c'est vrai ; mais, si l'appareil est complexe, le phénomène à observer est simple. Dans l'art d'expérimenter, en fait de corrections, il ne reconnaît qu'un procédé, c'est celui qui n'en exige pas."

Regnault est le prince de l'expérimentation, le roi de la précision. S'il dresse des tables de poids spécifiques ou de tensions de vapeur, le résultat est définitif, et personne ne songera à le corriger.

C'est ainsi qu'après de longues et irréprochables expériences de laboratoire, il fait voir que la loi de *Dulong et Petit* sur les chaleurs spécifiques des atomes, que la loi de *Mariotte* sur la compressibilité des gaz, que la loi de *Gay-Lussac* sur leur dila-

tabilité ne sont exactes que pour des gaz parfaits et ne s'appliquent pas rigoureusement aux conditions actuelles de la matière.

C'est aussi grâce à l'observation de faits précis et par l'analyse scrupuleuse des phénomènes, qu'il perfectionne la thermométrie et l'hygrométrie. Sa méthode pour la détermination des poids spécifiques des gaz par rapport à l'air, dite *méthode de Regnault*, est restée classique et elle est un modèle d'ingéniosité par la suppression de toutes les causes d'erreur.

Mais ses études les plus importantes sont celles qu'il a faites sur la machine à vapeur. L'on sait combien le commerce, l'agriculture, l'armée, la marine, les moyens de transport, le travail national sont intéressés au bon fonctionnement et au rendement intensif de cette machine, et combien il importe de lui faire donner, grâce à la meilleure utilisation du combustible, le maximum d'effet utile avec le minimum de dépenses.

Les pouvoirs publics ne pouvaient se désintéresser de la solution d'un pareil problème, et Re-

gnault fut chargé de déterminer " les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur ".

Avec un patience admirable et une précision sans exemple, il mesure la force élastique de la vapeur d'eau depuis 34° au-dessous de zéro, quand la glace fournit la vapeur, jusqu'à 230° au-dessus, puis la chaleur spécifique de l'eau liquide depuis zéro jusqu'à près de 200° et, enfin, la chaleur totale nécessaire pour réduire l'eau en vapeur sous des pressions variées. Les résultats de ce travail gigantesque couvrent un volume des Mémoires de l'Académie des Sciences et constituent des tables numériques d'un prix inestimable où les ingénieurs trouvent les bases fondamentales pour tous les calculs nécessaires aux machines à vapeur.

Il sera donc vrai de dire que l'œuvre de Regnault, tant au point de vue pratique que de la science pure, a été d'une fécondité et d'une originalité qui lui assurent l'admiration et la reconnaissance de l'humanité.

*
* *

L'un des appareils les plus intéressants et plus populaires dans les cours de physique est sa con'redit la *bobine d'induction*, véritable transf mateur d'énergie électrique par lequel, avec courant primaire de grande intensité, mais faible tension, comme celui d'une pile, on obtien aux bornes du secondaire, des étincelles de hau tension comparables à celles des grandes machin statiques. Pendant longtemps, la bobine d'i duction est restée un appareil de laboratoire et simple curiosité scientifique. Mais dans la sui et surtout de nos jours, elle a pris une importanc exceptionnelle à cause de son emploi constant e spectroscopie, pour la production des rayons X e surtout comme organe très employé des poste transmetteurs de télégraphie sans fil.

Aussi sa construction a été grandement per fectionnée, ses dimensions et sa puissance se son accrues dans de larges limites et elle est devenue une des machines les plus répandues et les plus indispensables de la science électrique moderne.

Il n'est donc pas sans intérêt de faire connaître les noms des deux physiciens français qui l'ont inventée, *Masson* et *Breguet*, et celui de l'habile

constructeur parisien *Ruhmkorff* qui l'a perfectionnée et popularisée, au point qu'elle est ordinairement connue sous le nom de *bobine de Ruhmkorff*.

Mais rien n'égale, en importance pratique, l'invention des machines génératrices de courants électriques, appelées communément *machines magnéto* et *dynamo-électriques*. Pour trouver un pareil mouvement industriel, dont elles sont la source, mouvement qui conduit à une véritable transformation des systèmes d'éclairage, des procédés métallurgiques, des moyens de locomotions et à la réalisation du transport de la force motrice à distance, il faut remonter jusqu'à l'invention de la machine à vapeur.

Ce sont les machines dynamo-électriques qui ont suppléé à l'insuffisance des piles pour la production des courants puissants et économiques que demande l'industrie ; ce sont les dynamos qui transforment la chaleur du charbon des machines à vapeur et surtout la puissance mécanique des chutes d'eau en énergie électrique, laquelle à son tour se transforme en lumière dans les lampes à arc ou à incandescence, en énergie chimique dans

les accumulateurs, en travail mécanique dans les moteurs d'usine et les chemins de fer électriques.

L'invention de nos machines modernes si parfaites, si nécessaires qu'il semble que nous ne pourrions plus nous en passer, ne s'est certes pas effectuée d'un seul coup et, comme d'ailleurs la plupart des inventions, elle est le résultat des travaux et des études d'un grand nombre de savants et d'ingénieurs.

L'on doit rendre hommage au premier initiateur, le grand physicien anglais Faraday, puisque c'est lui qui découvrit, en 1839, le phénomène capital de l'induction électrique et électromagnétique qui sert de fondement à toutes les machines employées dans l'industrie. Mais pour appliquer un principe de physique à des machines industrielles, il fallait passer par une longue et difficile série de phases successives, avant d'arriver au type définitif qui contient la solution du problème.

De premiers essais furent faits par Pixii en France et par Clarke en Angleterre ; divers perfectionnements furent apportés ici et là, mais rien

encore ne permettait d'appliquer sur une grande échelle le principe de l'induction à la production de courants vraiment industriels.

C'est en 1869, date qui fait époque dans l'histoire des progrès de l'électricité, que l'ingénieur français *Gramme* construisit la première magnéto pratique à courants *redressés*, c'est-à-dire à *courants continus*. L'originalité de cette machine consiste, en premier lieu, dans l'*anneau Gramme*, dispositif extrêmement ingénieux que l'on retrouve, plus ou moins modifié, à peu près partout, puis dans le *collecteur* de courant, qui permet, avec l'anneau, de redresser les courants alternatifs, et enfin dans la disposition du champ magnétique inducteur, adoptée dans toutes les machines que l'on a construites dans la suite, et par laquelle, point capital de l'invention, on obtient des courants d'intensité considérable avec des machines de poids et de volumes restreints.

Telle est l'importance de l'invention de Gramme que, malgré les perfectionnements et les modifications que l'on constate dans les machines employées de nos jours, " *rien d'essentiel n'a été changé* ".

La machine magnéto, à aimant permanent, encore très en usage aujourd'hui, en particu pour produire l'étincelle d'allumage du méla détonant dans les moteurs d'automobiles et d' roplanes.

Pour l'obtention de courants plus intenses, cessaires à une foule d'applications de l'électrici comme l'éclairage, le transport de la force motri les magnétos ont cédé le pas aux dynamos, da lesquelles le champ magnétique inducteur e produit par un électro-aimant, c'est-à-dire noyau de fer aimanté par un courant. Mais da ces nouvelles machines, de beaucoup supérieur aux précédentes, on retrouve encore le disposit de Gramme, et, remarquons-le en passant, l'éle tro-aimant d'Ampère et d'Arago.

L'emploi des dynamos serait forcément res treint si ces machines ne pouvaient utiliser leu courant que dans le voisinage de leur installation Serait-il possible, d'une part, de faire agir un cou rant, par exemple pour allumer des lampes élec triques, à une longue distance, à l'extrémité d'une grande longueur de fils conducteurs, et, d'autre part, ce courant pourrait-il être employé à faire

tourner un moteur qui transformerait, dès lors, l'énergie électrique en énergie mécanique ? De cette façon, on transporterait à distance, sur les ailes d'un courant, les forces hydrauliques des chutes d'eau qui se perdent autrement, à cause de leur éloignement des centres industriels.

Il semble que ce double résultat, serait-on tenté de dire avec la croyance populaire, est trop beau, trop grandiose pour qu'on puisse en espérer la réalisation. Mais il n'en est rien, et le problème, de la plus haute importance industrielle, tant au point de vue électrotechnique qu'au point de vue financier, a trouvé une solution inattendue et des plus élégantes dans l'invention des *transformateurs* et la découverte du principe de la *réversibilité des dynamos*.

Sans insister sur certaines considérations théoriques, assez difficiles à saisir, nous dirons simplement que, à raison des pertes de courant le long de la ligne sous forme de chaleur, et à raison, de plus, du coût prohibitif de l'installation, si l'on utilisait les courants continus à basse tension, il y a avantage et il est nécessaire, pour effectuer économiquement le transport d'une grande quantité

d'énergie électrique à de grandes distances, d'employer des courants alternatifs à haut voltage.

Mais ces courants à haut potentiel,— on dépasse de nos jours 100,000 volts,— présentent de tels dangers d'accidents mortels qu'on ne peut songer à les utiliser sous cette forme, soit pour l'éclairage, soit pour les autres applications de l'électricité. Il fallait donc transformer ces courants et abaisser le voltage à une valeur moyenne permise pour les usages ordinaires.

Les appareils qui réalisent cette transformation si nécessaire et qui marquent un progrès décisif dans la transmission à distance d'une grande puissance électrique, s'appellent des *transformateurs*, et l'on on doit l'invention, en 1884, à un ingénieur.. français, *Gaulard*. Les transformateurs se composent essentiellement de deux enroulements de longueur et de section différentes disposés sur un noyau de fer de forme particulière. Si l'on lance le courant alternatif à haut voltage dans le premier circuit à fil long et fin, il développe par induction, sans aucune surveillance et sans aucune pièce mobile, dans l'autre circuit isolé à fil gros et court, un courant dont le voltage pourra être gradué sui-

vant les dimensions du circuit. C'est à partir de l'invention de *Gaulard* que les applications les plus importantes de l'électricité se sont multipliées dans des proportions merveilleuses et que la distribution de l'énergie électrique a pu se faire assez économiquement pour devenir industrielle.

L'autre partie du problème, à savoir le transport de la force motrice à distance, a trouvé sa solution dans les *moteurs électriques* qui découlent naturellement du principe de la *réversibilité* des dynamos, constaté pour la première fois, en 1873, par un ingénieur... encore français, *Hippolyte Fontaine.*

Ce principe consiste dans le fait qu'une dynamo peut fonctionner soit comme *génératrice* soit comme *réceptrice ;* dans le premier cas, elle engendre un courant électrique si on la fait tourner par une puissance mécanique quelconque. Dans l'autre, elle se met à tourner si on fait circuler un courant dans son armature mobile. Elle constitue alors un *moteur électrique* qui devient une source de travail mécanique. Le transport de la force motrice se trouve donc réalisé par ce fait qu'une génératrice, installée près d'une chute

d'eau, peut faire tourner, par le courant qu'elle débite, une ou plusieurs réceptrices à l'extrémité d'une longue ligne.

L'idée de ce transport est née naturellement du principe de la réversibilité, et les premiers essais, qui eurent un grand retentissement en 1882-83, furent exécutés par un physicien... toujours français, *Marcel Deprez*, déjà célèbre par un grand nombre de travaux scientifiques de haute valeur.

Si donc, Mesdames et Messieurs, les puissances hydrauliques des Sept-Chutes, des chutes Montmorency, du Saint-Maurice, à Shawinigan, à près de 100 milles de Québec, sont transportées dans notre ville où elles produisent la lumière qui inonde nos rues et nos habitations, si ces mêmes forces hydrauliques font circuler les tramways dans les rues et tourner les moteurs dans les usines où ils font une sérieuse concurrence à la vapeur, on doit un pareil résultat économique et industriel, en grande partie, à quatre savants français, Gramme, Gaulard, Hippolyte Fontaine et Marcel Deprez !

*
* *

Toute le monde connaît l'importance acquise de nos jours par ces tranformateurs d'énergie électrique que l'on appelle des *accumulateurs*. Ce sont, au point de vue technique, des piles secondaires dans lesquelles on emmagasine de grandes quantités d'énergie électrique par l'altération chimique d'électrodes particulières. Dès l'année 1801, un physicien français *Gautherot* avait remarqué qu'un *voltamètre*, dans lequel on avait décomposé de l'eau par un courant, devenait la source d'un autre courant, appelé courant secondaire, et de sens contraire au premier. Pendant longtemps, on chercha surtout à combattre l'action de ce courant, notamment dans les piles.

En 1859, un physicien français *Gaston Planté* eut l'intuition géniale qu'il fallait plutôt chercher à utiliser et à développer ce courant, et, doué d'un grand esprit de recherche, démontra que l'altération était beaucoup plus profonde sur des lames de plomb que sur les électrodes de platine employées dans les voltamètres ; il imagina tout de suite l'appareil pratique par lequel un courant de charge, après avoir circulé un certain temps dans son intérieur, est restitué à la décharge, et cela par l'in-

termédiaire d'actions chimiques complexes s des lames de plomb immergées dans de l'eau acid lée.

L'*accumulateur* était inventé !

Depuis 1859, il a naturellement subi de non breuses améliorations et divers perfectionnement On lui reprochait, au début, d'exiger des manipu lations longues et coûteuses, parce que, pour aug menter la surface active des plaques, il fallai les soumettre à des séries de charges et décharge successives : c'est ce que l'on appelle la *formation* *naturelle* de l'accumulateur.

En 1880, un physicien français *Camille Faure* leva la difficulté en fixant sur les plaques la matière active toute préparée sous forme de pastilles d'oxyde de plomb, et l'accumulateur, dès lors, se forme par un seul passage du courant : c'est ce qu'on a appelé le *formation artificielle*.

Les deux systèmes Planté et Faure sont encore employés de nos jours ; ils ont chacun leurs avantages et leurs défauts, suivant le service qu'ils sont appelés à donner.

On comprendra toute l'importance de l'invention des accumulateurs si l'on jette un coup d'œil sur les nombreuses applications auxquelles ils donnent lieu.

Dans les usines génératrices d'énergie électrique, les batteries d'accumulateurs jouent le rôle de volant, en ce sens qu'elles régularisent la distribution du courant des dynamos et le suppléent quelquefois complètement ; elles sont même indispensables dans le cas des services de moindre importance.

Les accumulateurs sont précieux par le fait que, sous la forme de modèles transportables, ils servent à faire mouvoir un grand nombre d'appareils, tels que tours, ventilateurs, instruments médicaux, et sont employés de plus pour la production des rayons X, les courants de grande fréquence, et pour alimenter les bobines des postes de télégraphie sans fil.

Ajoutons qu'ils servent aussi dans les automobiles où ils fournissent le courant pour l'étincelle d'allumage, pour le démarreur automatique et pour l'éclairage.

* * *

Pour ne pas trop nous écarter de l'ordre chronologique, quittons pour un moment le domaine de l'électricité et arrêtons-nous quelques instants sur une personnalité éminente de la science française, le grand astronome *Janssen*, en même temps grand philosophe et écrivain de haute valeur.

Fondateur et directeur pendant plus de 30 ans de l'Observatoire de Meudon, l'un des mieux outillés de l'Europe, fondateur également d'un autre observatoire au Mont-Blanc sur le glacier le plus élevé du continent européen, *Janssen* consacre sa vie à l'astronomie physique dont il est l'un des créateurs, et en particulier à l'analyse spectrale du Soleil. C'est dans ces deux établissements, munis par ses soins des plus puissants instruments et des laboratoires les plus complets, qu'il relève en France les études de spectroscopie solaire pendant longtemps négligées et qu'il apporte à l'astro-physique, en particulier par les belles photographies de la surface du Soleil, une contribution qui lui assure une place éminente parmi les grands astronomes.

L'analyse spectacle venait à peine d'être inventée, en 1860, que Janssen, l'un des premiers en France, pressent tout l'avenir réservé à la nouvelle méthode pour l'étude physique des astres.

Par des expériences célèbres exécutées en Italie, dans les Alpes et surtout sur le lac de Genève, en 1866, il démontre que les raies telluriques du spectre solaire doivent être attribuées à la vapeur d'eau de l'atmosphère terrestre, et réussit également à prouver l'existence de cette même vapeur dans l'atmosphère de Mars.

Mais, suivant ces belles paroles que l'astronome Radau prononça le jour de ses funérailles : " Janssen a été, sans conteste, le premier mortel qui eût réussi à écarter le voile sous lequel se cachent les phénomènes du Soleil."

En effet, avant Janssen, il était impossible d'étudier en dehors des éclipses totales les protubérances solaires, c'est-à-dire ces éruptions d'hydrogène enflammé qui s'échappent de l'a tre radieux et débordent tout autour du disque obscur de la Lune, lorsqu'elle vient se placer devant le Soleil. Janssen, alors qu'il était aux Indes pour observer l'éclipse totale du mois d'aoû 1868,

imagina une méthode qui permet d'étudier, av[ec]
le spectroscope, les protubérances solaires e[n]
dehors des éclipses. La méthode fut immédiat[e-]
ment appliquée avec plein succès le lendemain e[t]
les jours suivants, et elle devint le point de dépa[rt]
de la création d'observatoires nouveaux d'*astro-
nomie physique* dont celui de Meudon est l'un de[s]
plus perfectionnés.

Il n'était donc pas hors de propos, dans cett[e]
rapide revue de l'histoire des sciences physique[s]
au XIXe siècle, de rendre hommage à cette nobl[e]
figure de Janssen, l'une des gloires les plus pures de
la science française contemporaine.

Nous avons dit, dans notre première conférence, la part glorieuse prise par la France au XVIIe siècle et au XVIIIe siècle dans les mesures géodésiques, à tel point que l'on peut considérer la géodésie comme une science de création essentiellement française. Mais la France, qui avait été l'inspiratrice et l'initiatrice des géodésies étrangères, avait vu son zèle se ralentir au commencement du XIXe siècle et s'était laissée devancer par les autres nations.

Il était réservé à un savant français, le général *Perrier*, de rendre à la France le rang qui lui convient, c'est-à-dire le premier.

Frappé de l'infériorité des instruments et des méthodes françaises, lors d'une mission relative au rattachement trigonométrique des côtes nord de la France à celles d'Angleterre, Perrier, encore jeune officier, conçoit la noble ambition de restaurer la géodésie en France.

Après les premiers travaux de triangulation et de nivellement en Corse, Perrier se révèle éminent géodésien en Algérie, où il mesure en arc de 10° en longitude avec un système de vérification et de contrôle vraiment remarquable. Il obtient ensuite, avec la collaboration de *Locroy* et *Stéphan*, les différences de longitude entre Paris, Marseille et Alger ; mais ce qui popularisa son nom et fit de Perrier un maître, c'est le travail capital qu'il entreprit et mena à bonne fin de reviser la méridienne de France et de résoudre le problème posé depuis le commencement du siècle, à savoir la jonction trigonométrique de l'Espagne et de l'Algérie.

Dans l'exécution de cette vaste entreprise, Perrier déploie un zèle admirable ; il applique les méthodes les plus efficaces, il en crée lui-même de nouvelles, et, avec l'aide d'artistes constructeurs tels que Brunner et Breguet, il transforme les instruments d'observation, et s'entoure d'assistants qui, d'abord ses élèves, deviendront ensuite ses continuateurs autorisés. Le succès le plus complet couronne ses efforts et le résultat, dont l'importance n'échappe à personne, est la mesure d'un arc de méridien qui s'étend des Iles Shetland, au nord de l'Écosse, jusqu'à Laghouat, au désert du Sahara, soit près du tiers de l'arc qui joint le pôle à l'équateur.

Perrier, pour assurer à la France des successeurs de son œuvre, fonda l'observatoire-école de Montsouris, où les officiers pourraient s'initier aux observations astronomiques. Il ne s'est donc pas contenté de replacer la géodésie française au premier rang, il lui a assuré également les moyens de le garder. C'est ainsi que, dans ces dernières années, l'arc de Quito, dans la république de

l'Équateur, a été mesuré par les officiers du service géodésique français, sous la direction de l'Académie des Sciences.

*
* *

Nous avons déjà vu que l'*aéronautique*, science française à tous égards, était née des travaux et découvertes de Montgolfier, Charles et Robert, à la fin du XVIIIe siècle. Mais les études sur cette passionnante question subirent un temps d'arrêt considérable et ne furent reprises qu'un demi-siècle après les célèbres ascensions de Biot et de Gay-Lussac.

Jetons un coup d'œil rapide sur cette deuxième phase de la navigation aérienne, phase glorieuse où la France brille d'un vif éclat et qui aboutit, sous nos regards étonnés et ravis, à la conquête de l'air.

Il ne s'agit plus des ballons sphériques, libres, abandonnés aux caprices des vents : on aborde franchement le problème de la *direction*. Le premier qui eut la gloire de construire et de faire évoluer dans les airs un ballon susceptible de

direction est le fameux ingénieur français *Giffa* connu aussi dans la science par l'invention l'*injecteur Giffard*, encore employé aujourd'h pour l'alimentation des chaudières des machin à vapeur. En 1852 et 1855, il imagina un ballo fusiforme muni d'un gouvernail de direction et déplaçant à la volonté du pilote au moyen d'ur hélice à trois branches mue par une petite machin à vapeur.

En 1872, une autre tentative est faite par l'i lustre ingénieur *Dupuy de Lôme*, l'inventeur, re marquons-le en passant, *des navires de guerr cuirassés.*

En 1883, les frères *Tissandier*, avec un ballo allongé, mû par un moteur électrique, peuven tenir tête à un vent assez violent et même navigue vent debout, dans une deuxième expérience.

Mais ce fut en 1884 que la possibilité de la navigation aérienne fut triomphalement démontrée par le colonel *Renard* et son collaborateur le capitaine *Krebs*.

Par ses études théoriques et pratiques sur les conditions auxquelles doivent satisfaire les dirigeables, — forme du ballon, disposition de la

nacelle et de l'hélice, légèreté du moteur, — et par l'expérience mémorable du 6 octobre 1884 dans laquelle le ballon *La France* parcourut un circuit déterminé d'avance et revint au point de départ, le colonel *Renard* doit être à juste titre regardé comme le créateur de la navigation aérienne au moyen de dirigeables.

Mais à tous ces ballons, pour obtenir une vitesse propre, capable de résister à presque tous les vents, il manquait quelque chose d'essentiel : un moteur à la fois puissant et léger. On le trouva bientôt dans le *moteur à explosions*, appelé aussi *moteur à gazoline* qui, sous le minimum de poids, développe le maximum de puissance mécanique.

C'est à partir de cette découverte capitale que les progrès de la navigation aérienne se multiplièrent avec les quatorze " *Santos Dumont* ", les dirigeables du *comte de la Vaulx*, de *Deutsch de la Meurthe* et de beaucoup d'autres.

Les derniers perfectionnements, qui contiennent en quelque sorte la solution décisive du problème, eurent lieu en 1905, c'est-à-dire au delà des limites du XIXe siècle. Contentons-nous donc de mentionner le *Lebaudy* et *Patrie*, les deux dirigeables

construits par l'ingénieur français *Julliot* ; ces admirables machines, en effet, renferment tous les éléments nouveaux qui font des ballons actuels de véritables navires aériens, tels que coupe du ballon, stabilisateurs, ballonnet intérieur déjà décrit par le général *Meusnier* et qui assure la permanence de la forme, et le reste.

A côté des dirigeables, gonflés d'un gaz plus léger que l'atmosphère, la conquête de l'air peut aussi s'effectuer par une autre classe d'appareils plus lourds que l'air et que l'on a appelés des *aéroplanes* ou des *avions*. Tout le monde admire aujourd'hui ces merveilleuses machines, si maniables, si parfaites, qui imitent si bien et même, j'oserais dire, surpassent en quelque sorte le vol des oiseaux. On peut affirmer que, dans cette science de l'aviation, tout est français, théorie, initiation, premiers essais et nombreux perfectionnements.

En effet, la possibilité du vol mécanique a été expérimentalement démontrée par deux français, *Penaud* en 1871, et *Tatin* en 1873, tandis que la

théorie de l'aviation découle des études de *Marey* sur le vol des oiseaux et des développements mathématiques de *Renard*.

Au premier rang des constructeurs d'aéroplanes, il faut citer *Santos Dumont* : c'est lui qui, le premier, en 1906, gagna la coupe Archdeacon offerte à celui qui parcourrait 150 mètres en ligne droite avec une machine plus lourde que l'air.

Il ne faut pas oublier non plus les exploits de *Delagrange* en avril 1908, et de *Farman* en juillet, septembre et surtout le 30 octobre, où, du camp de Châlons à Reims, il parcourt 7 lieues en 20 minutes.

Désormais la voie était ouverte : *Blériot* survole la Manche et la liste des grands voyages en étendue et en altitude s'allonge tous les jours ; elle s'est terminée triomphalement, il fallait s'y attendre, par la traversée de l'Atlantique !

Janssen, dont nous avons parlé plus haut, dans un discours sur l'aéronautique, prononcé en 1892, au Congrès des Sociétés savantes, après avoir comparé les dirigeables aux avions et constaté, à cette époque, l'infériorité de ces derniers, s'exprimait de la manière suivante :

" Gardons-nous toutefois de conclure que l'avenir n'est pas de ce côté.

" La science ne permet pas ces *a priori*, et nous ne savons pas si une découverte imprévue, sur un mode d'obtenir une énergie mécanique extrêmement considérable sous un poids très faible, ne viendra pas tout à coup donner la supériorité aux appareils d'aviation. Tout ce qu'on peut affirmer c'est que l'aéronautique devait commencer comme elle l'a fait, par les ballons, et cette proposition est encore vraie aujourd'hui.

" Messieurs, peut-être l'avenir verra-t-il ces deux grandes formes de la navigation aérienne employées concourremment, suivant les circonstances. Je serais, pour mon compte, tout à fait porté à le croire."

Puis il terminait son discours par ces nobles et patriotiques paroles :

" Revenons donc, Messieurs, à nos anciennes et glorieuses traditions en demandant non seulement à notre gouvernement, à nos pouvoirs publics, mais à la France toute entière de s'emparer d'une question qui intéresse son honneur et sa gloire. Dans la distribution mystérieuse des rôles que les nations reçoivent pour l'accomplissement des destinées de l'humanité, la France a été élue pour voir sur son sol l'aurore de cette ère d'un monde nouveau. Elle ne faillira pas à ce mandat qui est dans son génie, dans son histoire, dans ses destinées."

Mesdames et Messieurs, ces paroles ne sont-elles pas prophétiques, et ne voit-on pas avec quelle intuition Janssen pressentait pour ainsi dire les grands perfectionnements du moteur à explosions qui devait résoudre le problème du dirigeable ? Avec quelle joie le vénérable savant, mort seule-

ment en 1907 à l'âge de 80 ans, a dû applaudir aux expériences décisives des premiers ballons vraiment pratiques et aux premiers essais sérieux des aéroplanes ! Et aussi, combien il avait raison de faire appel à la France tout entière et de ne pas douter de son génie !

Nous venons de mentionner le *moteur à explosions* ou *moteur à gazoline*, lequel, comme on l'a constaté, a rendu l'aviation possible et a développé d'une manière si extraordinaire l'automobilisme. Il est donc inutile d'insister sur son importance pratique, et, d'autre part, il serait trop long d'en faire l'historique complet.

Qu'il nous suffise de dire, en premier lieu, que le moteur à gazoline n'est qu'un perfectionnement du moteur à gaz et qu'il n'en diffère que par la substitution de l'essence légère de pétrole au gaz d'éclairage pour la composition du mélange détonant.

Notons, en second lieu, que le moteur à gaz *Lenoir*, paru en France en 1860, est le premier moteur de ce genre capable de fonctionner d'une manière régulière et vraiment industrielle, et que le *cycle à quatre temps*, sur lequel sont basés tous

les systèmes modernes, est décrit en 1862 dans l
fameux brevet pris le 7 janvier par l'ingénieu
français *Beau de Rochas.*

Enfin, le premier moteur utilisant l'essenc
légère de pétrole fut le *nouveau moteur Lenoir*
construit par *Rouart frères*, en 1883, et, l'anné
suivante, apparut le type remarquable dit *Simplex*
construit sur les plans de *Delamare-Deboutteville*
et *Malandin.*

C'est à partir de 1885 que les moteurs à gazoline se multiplièrent sous l'impulsion de nombreux constructeurs parmi lesquels on peut citer, *Forest, Levassor, de Dion* et *Bouton, Noël* et un grand nombre d'autres.

*
* *

Parmi les inventions les plus populaires et les plus importantes du XIXe siècle, il est impossible de ne pas signaler le *télégraphe* et le *téléphone.*

Nous avons déjà dit que le télégraphe électrique de Morse reposait sur l'emploi de l'électro-aimant d'Ampère et d'Arago. Il n'est pas sans intérêt de

noter ici que Ampère, le premier, songea à appliquer pour les communications télégraphiques les principes de l'électro-magnétisme.

A propos de l'expérience d'Œrsted, il écrit ce qui suit :

" D'après le succès de cette expérience, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir, à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités avec celles de chaque fil conducteur, une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails que l'on voudrait transmettre, à travers quelques obstacles que ce soit, à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles."

L'idée du télégraphe électro-magnétique était lancée.

Le télégraphe Morse est le plus simple de tous les systèmes, mais ce n'est pas le plus rapide. Nous ne pouvons songer à décrire ni même signaler les nombreux appareils télégraphiques inventés un peu partout. Il nous suffira de noter le *télégraphe à cadran* employé dans les gares françaises et surtout le télégraphe imprimant de *Baudot*, qui reproduit les dépêches en caractères typographiques ordinaires et qui est une merveille

de rapidité et de précision. Il permet également de lancer six dépêches en même temps, dans n'importe lequel sens, sur un seul fil.

Quant au téléphone, loin de moi la pensée de vouloir diminuer en quoi que ce soit le mérite de *Graham Bell* qui inventa à Philadelphie, en 1876, le premier téléphone électro-magnétique. On sait que les communications téléphoniques avec le système primitif de Bell étaient très restreintes et que la parole ne pouvait se faire entendre qu'à une petite distance. La portée des communications a été grandement étendue par la combinaison du téléphone avec le *microphone* de *Hughes*, et *Edison* a effectué un perfectionnement notable par l'emploi d'une bobine d'induction. Dans le système en usage aujourd'hui, on parle devant un microphone et l'on écoute avec un téléphone.

Notons aussi qu'il y a un grand nombre de systèmes téléphoniques, en particulier celui d'*Ader* encore en usage en France.

Mais bien qu'il faille reconnaître la gloire de tous ces inventeurs, il n'est que justice de citer textuellement ce qu'écrivait en 1854, vingt-deux ans avant Graham Bell, un physicien français, *Bourseul* :

"Imaginez que l'on parle près d'une plaque mobile, assez flexible pour ne perdre aucune des vibrations produites par la voix, que cette plaque établisse et interrompe successivement la communication avec une pile ; vous pourrez avoir à distance une autre plaque qui exécutera simultanément les mêmes vibrations."

N'est-ce pas là, Mesdames et Messieurs, le principe, net et clair, du téléphone ?

*
* *

Plusieurs, sans doute, parmi ceux qui m'écoutent ce soir, se rappelent l'étonnement profond que suscita la nouvelle d'une découverte extraordinaire par laquelle on avait réussi à établir des communications télégraphiques sans l'intermédiaire d'aucun fil conducteur : c'est la *télégraphie sans fil*, invention merveilleuse à laquelle s'attache le nom de M. *Édouard Branly*, membre de l'Institut de France et professeur à l'Institut catholique de Paris.

Les appareils de télégraphie sans fil, tant transmetteurs que récepteurs, sont très délicats et très compliqués et exigent, pour être bien compris, des connaissances assez étendues des principaux phénomènes de l'électricité ; mais le principe de

ce mode de communication qui excite toujours notre admiration, à cause des effets obtenus à de si longues distances, est extrêmement simple. Si l'on admet avec Maxwell que l'électricité est un mouvement vibratoire identique à celui de la lumière et qu'il n'en diffère que par la longueur d'onde, si l'on considère que les ondes électriques jouissent des mêmes propriétés que les ondes lumineuses, en particulier, comme Hertz l'a démontré, qu'elles se réfléchissent, se réfractent, se polarisent d'après les mêmes lois, si enfin on constate, avec *Sarrazin* et *de la Rive*, que ces deux systèmes d'ondes se propagent dans l'espace avec la même vitesse, on comprend aisément que l'on puisse communiquer à distance au moyen de signaux électriques comme on le fait avec des signaux lumineux, pourvu que l'on trouve un récepteur approprié qui joue pour l'électricité le rôle de l'œil pour la lumière.

C'est précisément ce récepteur pouvant enregistrer les ondes électriques que Branly a découvert en 1890 dans cet organe qu'il a appelé un *radioconducteur*, qu'on désigne encore sous le nom de *tube à limaille* ou *tube de Branly*.

Dès lors, la télégraphie sans fil comprend, en premier lieu, un poste transmetteur qui lance dans l'espace des ondes électriques émises par les étincelles d'une bobine d'induction, et, d'autre part, un poste récepteur, dont l'organe essentiel est un tube de Branly, c'est-à-dire un tube isolant contenant un peu de limaille métallique qui devient subitement conductrice lorsqu'elle est frappée par des ondes électriques, et qui, en livrant passage au courant d'une pile locale, permet à celui-ci de mettre en mouvement un appareil de télégraphie ordinaire.

La découverte de Branly a été immédiatement exploitée par un grand nombre de chercheurs, en particulier par Marconi qui le premier a établi des postes lointains de communication.

Le radioconducteur Branly permet de recevoir des signaux à quelques centaines de milles. Il est remplacé aujourd'hui par des récepteurs plus sensibles, appelés *détecteurs d'ondes*, parmi lesquels, outre le détecteur magnétique de Marconi, on doit citer le *détecteur électrolytique* du *commandant Ferrié*, qui l'emploie dans la puissante station radio-télégraphique de la tour Eiffel dont il est

le directeur, le *détecteur à cristaux*, dû à *Pickard*, l'un des plus sensibles, et *les lampes à trois électrodes* ou *audions* qui tendent de nos jours à supplanter tous les autres systèmes.

Presque en même temps que la télégraphie sans fil, une nouvelle découverte, ou plutôt une nouvelle série de phénomènes très curieux a attiré l'attention et provoqué l'étonnement du monde savant tout entier. En 1896, *Henri Becquerel*, en France, a reconnu que l'*uranium* et ses sels avaient la propriété d'émettre des radiations, des rayons, analogues aux rayons X, qui peuvent noircir les plaques photographiques, rendre les gaz conducteurs de l'électricité, traverser les corps opaques et exciter la fluorescence de certaines substances. On a désigné ces rayons sous le nom de *rayons de Becquerel* et les corps qui possèdent la propriété de les émettre sont appelés corps *radio-actifs*.

Mais la substance la plus radio-active est un nouveau métal, nommé pour cette raison le *radium*. Il a été découvert et extrait de la pechblende de Bohême par *Pierre Curie* et madame Curie, en France.

Les radiations très complexes du radium donneraient lieu à une étude assez longue et difficile à entreprendre ici ; nous ne pouvons que mentionner l'importance de la découverte, parce qu'elle a été le point de départ de nombreuses théories sur la constitution intime de la matière. Les travaux remarquables de madame Curie lui ont valu une chaire d'enseignement à l'Université de Paris et peu s'en est fallu qu'elle ne fût nommée, malgré la tradition, à l'Académie des Sciences ; il faut avouer qu'elle eut un adversaire redoutable dans la personne de M. Branly que l'Académie lui préféra par une ou deux voix seulement de majorité.

*
* *

Tout le monde connaît l'importance grandissante de l'industrie du froid, c'est-à-dire l'établissement des entrepôts frigorifiques pour la conservation des substances alimentaires périssables, et l'on sait également que les basses températures sont produites par l'évaporation rapide des gaz liquéfiés, tels que l'acide sulfureux, l'ammoniaque. On a réussi, d'autre part, depuis

quelques années, à liquéfier l'air atmosphérique, et l'on se sert de ce liquide extrêmement curieux comme réservoir d'oxygène en métallurgie et comme explosif. C'est ainsi que, pour le percement du tunnel du Simplon, entre la Suisse et l'Italie, on a renplacé la dynamite par l'air liquide.

La liquéfaction industrielle de tous les gaz, y compris l'air, est devenue un fait accompli lorsque les physiciens de tous les pays, Linde en Allemagne Tripler aux États-Unis, Dewar en Angleterre, d'Arsonval et Georges Claude en France, eurent adopté la détente des gaz comprimés comme source de froid. Et il faut citer le nom de celui qui a employé le premier cette méthode et qui le premier liquéfia les gaz permanents, le physicien français *Cailletet*, en 1877. Il a donc ouvert une voie extrêmement féconde, tant au point de vue thermodynamique qu'au point de vue industriel, et il convient de lui en faire honneur.

*
* *

A la fin du XIXe siècle, si riche en découvertes de toutes sortes, apparaît l'emploi plein de pro-

messes de l'électricité dans la *métallurgie*. On appelle *métallurgie électrique* l'extraction des métaux, leur affinage et la formation de leurs alliages et carbures au moyen du courant électrique.

Les appareils qui utilisent la haute température de l'arc électrique pour produire des réactions *électrothermiques*, température évaluée par M. *Violle*, en France, à 3500° C., ont reçu le nom de *fours électriques*.

Le principal nom qu'il faut citer dans cette voie nouvelle est celui du chimiste et physicien français *Moissan*. Au moyen d'un four particulier, dont la disposition permettait de concentrer sans perte, dans un espace très restreint, une quantité énorme de chaleur due à l'énergie d'un courant extrêmement intense, Moissan a réussi à produire les carbures métalliques, en particulier le carbure de calcium avec lequel on prépare l'*acétylène*, ainsi qu'à déterminer la fusion et la volatilisation des métaux les plus réfractraires.

C'est par les fours électriques que l'on extrait en grand l'aluminium, et, depuis quelques années,

le fer. On les emploie aussi pour préparer des fontes spéciales, comme le ferro-silicium, le ferro-manganèse, le ferro-nickel et le reste.

Les ingénieurs français tiennent une bonne place parmi tous ceux,— et ils sont très nombreux, — qui se sont distingués dans les études et la construction des fours électriques.

Mentionnons les fours *Keller*, *Minet* et *Héroult* et signalons la grande importance de ce nouveau mode d'emploi du courant électrique, surtout pour la métallurgie du fer et de l'acier. On comprend, en effet, en particulier pour un pays comme le nôtre où les forces hydrauliques sont si nombreuses et encore peu utilisées, quel avenir il y a dans ces méthodes industrielles de métallurgie permettant de remplacer le charbon qui nous manque par l'électricité que nous pouvons produire en abondance.

La chaleur développée par l'électricité a été aussi appliquée au chauffage des lieux habités,— application encore peu répandue à cause du coût trop élevé du courant,—à la cuisine électrique et aux autres besoins domestiques.

En 1890, *Carpentier*, en France, construisit, l'un des premiers, un four de cuisine, et un grand nombre d'autres inventeurs suivirent la voie qu'il venait d'ouvrir.

Charpy et *Colin* nous ont laissé de savantes études sur cette nouvelle utilisation des courants, et ce sont les principes et les calculs de *Colin* qui ont servi de base à la réalisation de nombreux appareils dont l'usage se répand partout de plus en plus, tels que chauffe-assiettes, fers à souder, poêles à frire, chauffe-fers pour tailleurs, chauffe-fers à friser, et beaucoup d'autres.

*
* *

Il resterait encore d'autres sujets intéressants et importants à traiter ; nous ne pouvons malheureusement que les effleurer en passant.

Mentionnons les courants de haute tension et de grande fréquence, popularisés par *Tesla*, aux États-Unis, mais étudiés à fond en France par le Dr *d'Arsonval* et le Dr *Oudin*.

C'est d'Arsonval qui a signalé les effets thérapeutiques des courants de haute fréquence et c'est

pour les utiliser, par une méthode que l'on a désigné sous le nom peu harmonieux de *darsonvalisation*, qu'il a perfectionné le dispositif de Tesla. On prétend, — mais en cela je décline ma compétence, — que l'application de ces courants est le meilleur remède contre la neurasthénie.

Le Dr Oudin, de son côté, a heureusement appliqué le principe de la *résonance* électrique à la production de ces mêmes courants de haute fréquence, et son *résonnateur*, outre les emplois médicaux, figure aussi dans les postes de télégraphie sans fil sous le nom, admis par tout le monde, de *montage en Oudin*.

Signalons également la *photographie des couleurs*. En 1891, M. Gabriel *Lippmann*, membre de l'Institut et professeur à l'Université de Paris, auteur de travaux scientifiques très importants et inventeur de l'*électromètre capillaire*, obtint le premier des photographies colorées inaltérables à la lumière par la méthode interférentielle, en partant de considérations théoriques basées sur les propriétés ondulatoires de la lumière. Le succès de Lippmann est un exemple remarquable dans

l'histoire des sciences d'une découverte prévue comme conséquence d'une théorie et que l'expérience a pleinement réalisée.

Un autre procédé entré dans la pratique courante, appelé *procédé trichrome*, et trop compliqué pour que nous songions à le décrire, est celui des frères *Lumière* et qui donne d'excellents résultats.

Il nous faut aussi dire un mot des *sous-marins*, dont la grande guerre qui vient de finir nous a démontré le rôle et les dangers.

L'histoire signale plusieurs tentatives de navigation sous-marine dès le XVIIe siècle ; le premier consul Bonaparte, en 1800, refusa l'offre d'un sous-marin qui lui fut faite par Fulton et l'on parle aussi d'une bataille sous-marine qui aurait eu lieu pendant la guerre de Sécession aux États-Unis.

Mais les premiers essais vraiment sérieux datent de 1885, en France ; le *Gymnote*, construit sur les plans de l'ingénieur *Zédé*, filait 8 nœuds au moyen d'un moteur électrique mû par une batterie d'accumulateurs.

Puis *Romazotti* fait adopter le sous-marin *Gustave Zédé* dont la vitesse atteignait 12 nœuds.

Ces navires n'étaient construits que pour naviguer sous l'eau.

Des résultats très satisfaisants furent ensuite obtenus avec le *Narval*, nouveau type mixte, appelé *submersible*, conçu par l'ingénieur *Laubœuf*, et qui utilisait la vapeur à la surface et les accumulateurs en plongée.

L'on sait avec quelle ardeur les études sur les sous-marins se sont poursuivies dans tous les pays et quel parti on a su tirer de cette invention vraiment française.

N'oublions pas non plus le *cinématographe* dont l'éloge, du moins au point de vue scientifique et de l'enseignement par les yeux, n'est plus à faire.

Le cinématographe est une application des plus heureuses du principe d'optique de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, et de la *chronophotographie*, c'est-à-dire l'art d'obtenir une longue suite de photographies successives, à des intervalles réguliers, d'un même sujet en mouvement. Le principe de la persistance des impressions rétiniennes avait déjà été appliqué dans le *zootrope* de Plateau, dans le *phénakisticope* et le *praxinoscope* de *Raynaud*, en 1885.

De même, *Marey* et son aide *Demeny*, en employant la méthode chronophotographique, remplacèrent les images dessinées à la main par des images photographiques.

En 1895, *Edison* construisit sous le nom de *kinétoscope* un appareil qui ne permettait de faire voir les images d'objets en mouvement qu'à un petit nombre de spectateurs.

Mais la solution complète, réalisant la projection des vues animées, appartient aux frères *Lumière* sous le nom de *cinématographe*, et au *chronophotographe* de *Demeny*.

*
* *

Nous voudrions faire connaître la vie et les œuvres de cette longue et remarquable série de savants mathématiciens, astronomes, ingénieurs hydrographes, amiraux et navigateurs français, dont la plupart siégèrent à l'Académie des Sciences et qui, avec bien d'autres, en firent la réunion de savants la plus illustre de l'univers. Il faut nous restreindre à nommer seulement les principaux :

L'amiral *Pâris*, qui le premier appliqua la vapeur aux navires de guerre rapides ;

Le commandant *Guyou*, professeur d'architecture navale et de navigation ;

Bouquet de la Grye, ingénieur hydrographe ;

Le contre-amiral *Fleuriais* ;

Ossian-Bonnet, cartographe et géodésien ;

Le commandant *de Bernardières*, astronome ;

L'amiral *Mouchez*, célèbre par l'entreprise de dresser une carte du ciel où sont localisées cinquante millions d'étoiles.

Puis viennent les grands mathématiciens et les grands astronomes, tels que *Hermite*, *Deslandres*, *Tisserand*, *Faye*, *Locroy*, *d'Abbadie*, *Picard*, *Liouville*, *Bertrand*, *Darboux*, *Hatt*, *Bigourdan*, *Appell*, *Hamy*, *Lallemand*, *Puiseux*, *Radau*, et bien d'autres qui tous mériteraient une notice spéciale.

Malgré ces illustrations de la science française, qu'on ne rencontre en aussi grand nombre dans aucun pays, il semble que la gloire de la France ne serait pas complète, il semble que les lois de l'équilibre ne seraient pas satisfaites si le déclin du siècle ne répondait pas à son aurore, si cette brillante époque, illustrée par Laplace à ses débuts,

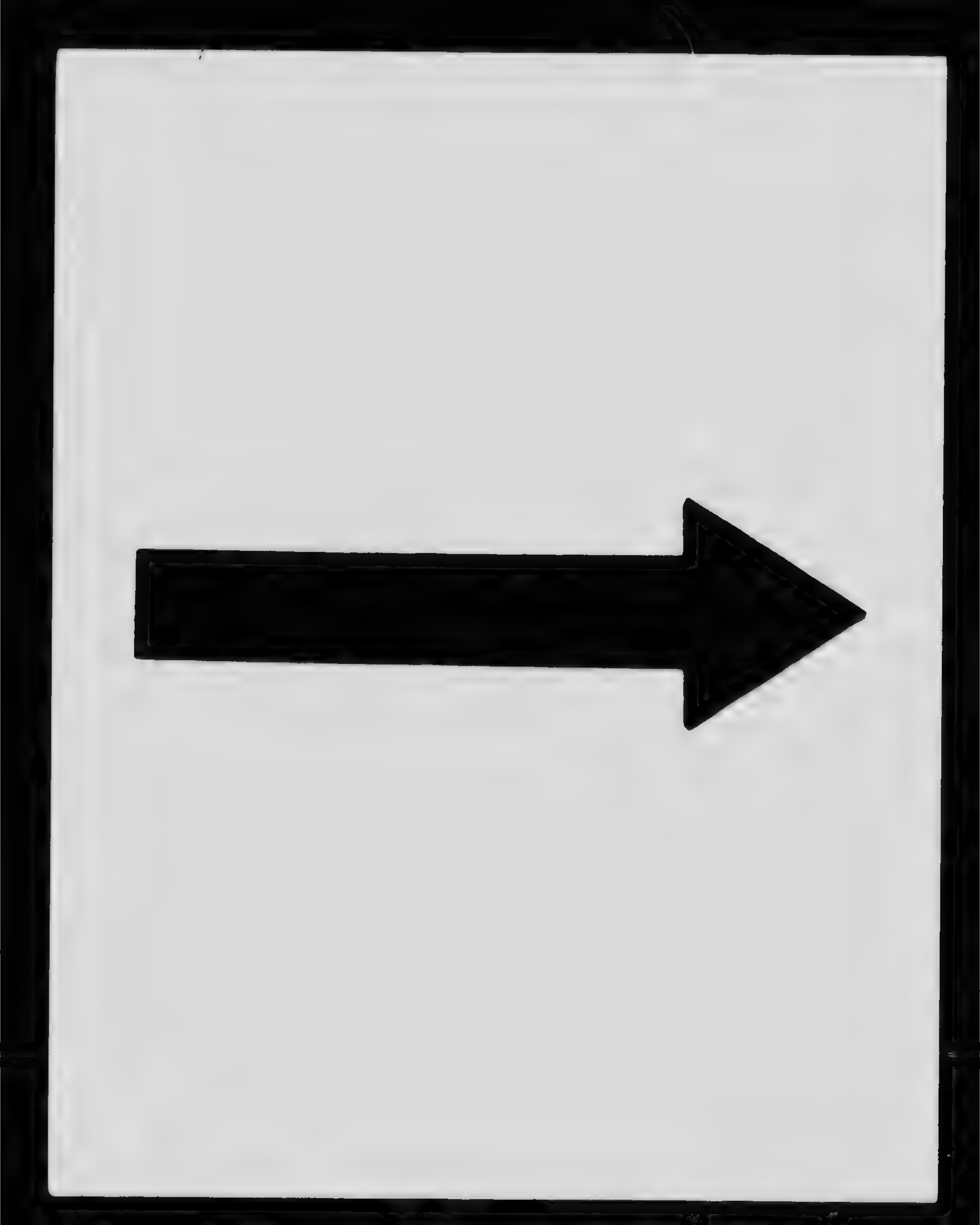
ne s'était pas terminée par l'apparition d'un astre transcendant qui brillerait au firmament de la science d'un éclat incomparable.

Cet astre lumineux, le digne pendant de Laplace à l'autre extrémité du siècle, c'est... *Henri Poincaré.*

Mesdames et Messieurs, Henri Poincaré n'est pas seulement l'égal de Laplace, c'est à Pascal qu'il faut le comparer.

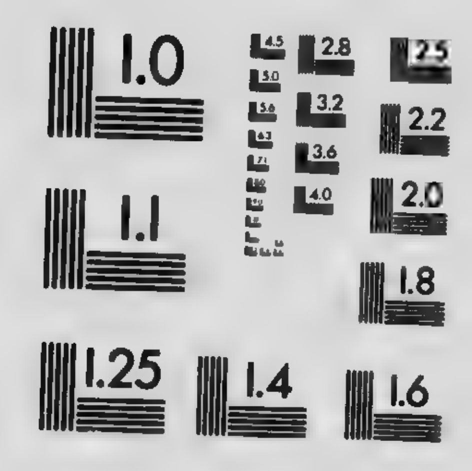
Je n'entreprendrai pas d'analyser ni même d'esquisser sommairement l'œuvre de Poincaré ; elle est tellement prodigieuse, tellement inaccessible, elle plane dans les régions tellement élevées de l'astronomie, de la mécanique céleste et des mathématiques transcendantes que, je puis bien le dire sans faire de peine à personne, je m'y perdrais... et vous aussi !

La série des publications scientifiques de Poincaré est immense et d'une surprenante profondeur; il les commence à 24 ans et il publie des livres admirables sur la théorie des probabilités, sur l'électricité et l'optique, sur la thermodynamique, sur la chaleur, sur la capillarité et, en outre, plus de quinze cents mémoires. Rien ne lui est étranger :



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART

(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)





géodésie, cosmogonie, astronomie, philosophie des sciences, et, à l'Université de Paris, il occupe successivement, dans une période de trente ans, les chaires de mécanique, de physique mathématique et de calcul des probabilités, d'astronomie mathématique et de mécanique céleste. Ses cours de mécanique, de cinématique et de physique mathématique furent publiés, avec son autorisation, par l'Association amicale des élèves et des anciens élèves de la Faculté des Sciences, et ils forment seize volumes qui, pourtant, ne comprennent que la première partie de son enseignement.

Il est professeur à la Faculté des Sciences à 27 ans, et membre de l'Académie des Sciences à 33 ans, en 1887 ; il fait bientôt partie de toutes les académies du monde entier, qui s'honorent et se font gloire d'inscrire le nom de Poincaré sur la liste de leurs membres. En 1889, âgé de 35 ans, il gagne la grande médaille d'or offerte par le roi de Suède Oscar II, au vainqueur du concours international de mathématiques.

Il devient membre de toutes les associations savantes de la France : Bureau des Longitudes, Conseil des Observatoires, Observatoire de Paris,

Société astronomique de France, et partout il est un maître, partout il étonne par la profondeur de sa pensée, et la puissance de son génie. Il est aussi membre de l'Académie française, et il se révèle fin littérateur autant que philosophe extraordinaire.

Que pourrais-je ajouter de plus, Mesdames et Messieurs? Comme disait Bigourdan, président du Bureau des Longitudes, le jour de ses funérailles, " comment louer si rapidement et comme il le mérite celui dont la puissante intelligence a embrassé tant de sciences et remué tant d'idées? " Je ne puis qu'emprunter les paroles de Jules Claretie, parlant au nom de l'Académie française : " Juger le savant serait une témérité singulière. Nous ne pouvons, célébrant sa gloire, que nous incliner devant le philosophe dont la pensée eut une action si féconde, si profonde sur les générations nouvelles."

Disons encore, avec Darboux qu'il fut " le plus grand géomètre de son temps " et avec Painlevé qu'il fut le " *cerveau consultant* de la science humaine." Et ce même mathématicien Painlevé

rappelant sa haute renommée qui avait pénétré toutes les classes, tous les milieux français, même les plus légers, ajoutait :

" Et que cet homme fût un des leurs, qu'il fût né en pleine terre lorraine, qu'il parlât leur langue, qu'il déployât, dans ses recherches si complexes et si difficiles, cette clarté, cette concision, cette imagination logique, lucide et simplificatrice qui sont les qualités maîtresses de notre race, c'était pour eux une raison de fierté et de réconfort. Noble patriotisme et légitime orgueil qui ne sauraient offusquer nul autre peuple ! Il n'est aucune nation qui ne nous ait envié Henri Poincaré, il n'en est aucune qui ne s'inclinât avec respect devant la primauté de son génie."

*
* *

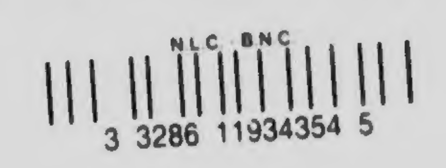
Que conclure, Mesdames et Messieurs, de ce rapide aperçu des sciences physiques françaises au XIXe siècle ?

Nous pouvons l'affirmer sans crainte : la part que la France a prise dans le développement des sciences, par les travaux de ses initiateurs, de ses semeurs d'idées et de ses inventeurs, est éminemment glorieuse et elle ne le cède en rien aux autres nations de l'univers. Et c'est un grand bonheur, pour nous Canadiens-français, qui sommes l'extension de la race française en Amérique, de le proclamer bien haut avec une légitime fierté.

Mais *noblesse oblige*, et la France compte que nous ne bornerons pas notre patriotisme à de vaines louanges, à de stériles admirations.

Bien que le fait puisse s'expliquer jusqu'à un certain point par les conditions particulières dans lesquelles nous nous trouvons, l'on peut regretter que les sciences physiques ne soient pas cultivées comme elles devraient l'être sur les rives du Saint-Laurent. Il est temps plus que jamais de nous mettre résolument à l'œuvre, et, à l'époque actuelle surtout où bien des préjugés s'écroulent et où se dissipe enfin le cauchemar de l'engouement germanique, il est de notre devoir et ce sera notre honneur de tourner nos regards vers le beau pays de France et de prendre pour guide dans nos travaux les admirables méthodes scientifiques françaises, plus conformes que toutes autres à notre mentalité, à notre caractère national. Et de cette façon, dans le domaine des sciences comme dans tous les autres, nous serons fidèles à la délicate et honorable mission que la Providence nous a confiée, de développer sur cette terre d'Amérique l'influence française !

TABLE DES MATIÈRES


NLC BNC
3 3286 11934354 5

